

Aus dem  
Ev. Krankenhaus Königin Elisabeth Herzberge  
Lehrkrankenhaus der Charité - Universitätsmedizin Berlin

und der  
Klinik für Neurochirurgie  
Medizinische Fakultät der Charité – Universitätsmedizin Berlin

## DISSERTATION

# **Entwicklung und Erprobung eines dichotischen Hörtests zur Erfassung der Sprachdominanz bei epilepsiechirurgischen Kandidaten**

Zur Erlangung des akademischen Grades  
Doctor rerum medicarum (Dr. rer.medic.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät der Charité -  
Universitätsmedizin Berlin

von  
Heinz Hättig  
aus Oberkirch / Baden

---

Dekan: Prof. Dr. med. Martin Paul

Gutachter: 1. Prof. Dr. Wolfgang R. Lanksch  
2. Prof. Dr. Heinz-Joachim Meencke  
3. Prof. Dr. Rainer M. Bösel

Datum der Promotion: 24. September 2004

---

## Abstract (Deutsch)

Nach dem Prinzip synchronisierter Reimwörter wurde ein deutscher dichotischer Hörtest entwickelt und erprobt (Fused Words, FW10b). Die Reliabilitätskennwerte lagen für die interne Konsistenz bei  $\alpha=0,89$  und für die Re-Test-Reliabilität im Bereich von  $r_{tt}=0,67$  bis  $r_{tt}=0,87$ . Der dichotische Test korrelierte hoch mit einem Paralleltest ( $r=.73$ , FW12k). In mehreren Untersuchungen fand sich keine Assoziation des dichotischen Lateralisationsergebnisses mit dem Hormonzyklus bei Frauen. Zwischen der Klassifikation im Wada-Test und der Klassifikation im dichotischen Test wurde eine hohe prozentuale Übereinstimmung beobachtet (91%). Auch in einer externen Studie wurde eine hohe Konkordanz mit einem fMRT Paradigma gefunden (97%, Hund-Georgiadis et al 2002, [50]). Unter Rechtshändern hatten 70% einen Rechts-Ohr-Vorteil, 23% einen Links-Ohr-Vorteil; bei 7% wurde kein Ohr-Vorteil beobachtet. Es bestand eine hohe Assoziation zwischen dem Lateralitätsquotient der Händigkeit und dem Lateralitätsindex Lambda aus dem dichotischen Test ( $R=0,76$ ,  $r=0,72$ ). Bei epilepsiechirurgischen Kandidaten mit links- oder rechtsseitigen Temporallappenläsionen, die alle durch einen Wada-Test als unilateral links-hemisphärisch sprachdominant kategorisiert worden waren, wurden Läsionseffekte analysiert (Hippocampus-Sklerose vs. extra-hippocampale Läsionen). Wie erwartet ergaben sich massive Läsionseffekte für die Patienten mit den Läsionen in der linken sprachdominanten Hemisphäre. In der linken extra-hippocampalen Untergruppe kam es zu einer signifikanten Abnahme der Rechts-Ohr-Punkte und gleichzeitig zu einem signifikanten Anstieg der Links-Ohr-Punkte. Die Einbeziehung von neokortikalen und anderen extra-hippocampalen Strukturen in die temporalen Läsionen war von entscheidender Bedeutung für die Unterdrückung der Antworten vom kontralateralen (rechtsseitigen) Ohr. Die Zunahme der Links-Ohr-Punkte in der Gruppe mit linksseitigen extra-hippocampalen Läsionen deutet eine kompensatorische Verlagerung von Sprachfunktionen auf die rechte Hemisphäre an, die durch den Wada Test nicht erfasst wurde.

Sprachlateralität	Dichotisches Hören	Fused Words Test	Läsionseffekte
Händigkeit	Epilepsiechirurgie	Unterberger	Wada Test
Hippocampus-Sklerose	Tretversuch	Hormonzyklus	Geschlechtseffekte
Ohrvorteil	Ohrunterdrückung	Temporallappen	Epilepsie
Rechtshändigkeit	Linkshändigkeit	Dynamische Lateralität	Rechtsohrvorteil

---

## Abstract (Englisch)

Following the principle of synchronized rhyming words a German dichotic listening test was developed and tested (fused words, FW10b). Reliability coefficients for the inner consistency were at  $\alpha=0,89$  and for the re-test-reliability between  $r_{tt}=0,67$  and  $r_{tt}=0,87$ . The dichotic test FW10b was highly correlated with a parallel test ( $r=.73$ , FW12k). None of several studies did show any association between the dichotic language lateralization and the hormonal cycle in women. A high percentage of agreement was observed between the Wada classification and the classification by the dichotic test (91%). Furthermore Hund-Georgiadis et al 2002, [50] found a high percentage of concordance with the lateralization by a fMRI paradigm in an external study (97%). Among right-handers 70% showed a right ear advantage, 23% had a left ear advantage, and 7% had no ear advantage. There was a high association between the laterality quotient of the handedness inventory and the laterality index Lambda of the dichotic listening test FW10b ( $R=0.76$ ,  $r=0.72$ ). Lesion effects were analyzed in epilepsy surgical candidates with left and right temporal lobe lesions (hippocampus sclerosis vs. extra-hippocampal lesions), who were all categorized as left-hemispheric language dominant by a Wada-test. As expected, massive lesion effects were apparent in those patients who had their lesions in the left language dominant hemisphere. In the subgroup with left extra-hippocampal lesions there was a significant decrease of right-ear-points and at the same time a significant increase of left-ear-points. The involvement of neocortex and other extra-hippocampal structures in temporal lobe lesions were of crucial importance for the suppression of contralateral (right) ear responses. The elevation of left-ear-points in the left-lateral group indicated a partial compensational shift of language functions to the right hemisphere, which was not detected by the Wada procedure.

language laterality	dichotic listening	Fused Words Test	lesion effect
handedness	epilepsy surgery	Unterberger	Wada Test
hippocampus sclerosis	stepping test	hormonal cycle	gender effects
ear advantage	ear suppression	temporal lobe	epilepsy
right-hander	left-hander	dynamic laterality	right-ear-advantage

---

## **Danksagung**

Am Anfang schien die Entwicklung eines dichotischen Hörtests eine unrealisierbare Idee zu sein. Die Zusammenarbeit und Unterstützung vieler Menschen war erforderlich, damit das Vorhaben nach und nach Gestalt annehmen konnte. Ihnen allen sei an dieser Stelle herzlich gedankt.

In der ersten Zeit der Materialerstellung waren es besonders Dr. Eugen Diesch (TU), Prof. Dr. Bösel (FU), Martin Beier (FU) und Jana Gothe (FU) die das Vorhaben unterstützten. Später setzten die Studenten Stefan Debener (TU), Claudia Friedrichs (TU), Gudrun Müller (FU) und Kerstin Kasel (TU) das dichotische Material in Teilaspekten in ihren Diplomarbeiten ein. Ihnen folgten Frau Dipl.-Psych. Margret Hund-Georgiadis (MPI, Leipzig), Judith Scheib (FU) und Katja Burckhardt (HU).

Prof. Dr. Meencke (Epilepsie-Zentrum Berlin-Brandenburg) hat es mir ermöglicht, über die bisherigen Erfahrungen mit dem Test, eine Dissertation zu verfassen. Besonders danke ich Frau Dipl.-Psych. Suzan Kabbert für ihre Ermutigung und ihren Beistand.

Berlin, im Oktober 2003

Heinz Hättig

**Inhalt**

<b>A Einleitung und Zielsetzung</b>	<b>1</b>
<b>B Dichotisches Hören</b>	<b>3</b>
<b>B.1 Geschichtliche Entwicklung</b>	<b>4</b>
<b>B.2 Synchronisierte Zahlenreihen</b>	<b>6</b>
<b>B.3 Synchronisierte Silben</b>	<b>6</b>
<b>B.4 Fused Rhymed Words Test</b>	<b>7</b>
<b>B.5 Das Testkonzept des FRWT</b>	<b>8</b>
<b>C Entwicklung eines dichotischen Hörtests</b>	<b>10</b>
<b>C.1 Die Konstruktion der dichotischen Items</b>	<b>10</b>
C.1.1 Problemstellung: Vermeidung von Stimulus-Dominanz	10
C.1.2 Itemerstellung	11
C.1.3 Digitale Bearbeitung der Wortpaare (Angleichung der Wortlänge)	12
C.1.4 Ablauf des Tests: Objektivität von Durchführung und Auswertung	13
<b>C.2 Rechts-Ohr-Vorteil für die verbal-dichotischen Stimuli</b>	<b>15</b>
C.2.1 Problemstellung	15
C.2.2 Hypothesen	15
C.2.3 Methoden	15
C.2.4 Ergebnisse 1: Rechts-Ohr-Vorteile für rechtshändige Kontrollgruppen	17
C.2.5 Ergebnisse 2: Itemanalyse in homogenen und heterogenen Gruppen	19
C.2.6 Ergebnisse 3: 2. Reduktion von 21 auf 10 Items, von FW21a zu FW10b.	21
C.2.7 Diskussion: Rechts-Ohr-Vorteile	23
<b>C.3 Reliabilität 1: Innere Konsistenz</b>	<b>29</b>
C.3.1 Problemstellung	29
C.3.2 Hypothesen	30
C.3.3 Methoden	30
C.3.4 Ergebnisse	31
C.3.5 Diskussion: Innere Konsistenz	32
<b>C.4 Reliabilität 2: Testwiederholung bei männlichen Probanden</b>	<b>33</b>
C.4.1 Problemstellung	33
C.4.2 Hypothesen	33
C.4.3 Methoden	34
C.4.4 Ergebnisse	34
C.4.5 Diskussion: Re-Test-Reliabilität	35
<b>C.5 Reliabilität 3: Testwiederholung im Hormonzyklus der Frau</b>	<b>36</b>
C.5.1 Problemstellung	36
C.5.2 Hypothesen	37
C.5.3 Methoden	37
C.5.4 Ergebnisse	38
C.5.5 Diskussion: Stabilität im Hormonzyklus	44
<b>C.6 Reliabilität 4: Korrelation zu einem Paralleltest</b>	<b>47</b>
C.6.1 Problemstellung	47
C.6.2 Hypothesen	47
C.6.3 Methoden	47
C.6.4 Ergebnisse	48
C.6.5 Diskussion: Korrelation zum Paralleltest	52
<b>C.7 Validität: Übereinstimmung mit der Wada Lateralisierung</b>	<b>53</b>
C.7.1 Problemstellung	53
C.7.2 Hypothesen	56
C.7.3 Methoden	57
C.7.4 Ergebnisse	57
C.7.5 Diskussion: Übereinstimmung mit der Wada-Lateralisierung	58

<b>D Sprachlateralität und Händigkeit: Effekte im dichotischen Test FW10b</b>	<b>60</b>
<b>D.1 Theorie der Lateralität</b>	<b>60</b>
D.1.1 Morphologisch-strukturelle Hemisphärenunterschiede	60
D.1.2 Geschlechtseinflüsse auf Gehirnmorphologie und Lateralität	62
D.1.3 Entwicklung der funktionellen Asymmetrien des Gehirns	63
<b>D.2 Entwicklung der motorischen Lateralität</b>	<b>66</b>
D.2.1 Asymmetrie der intrauterinen Position	66
D.2.2 Vestibuläre Stimulation durch den aufrechten Gang	67
D.2.3 Rechtshänder und Non-Dextrals	70
D.2.4 Zusammenfassung: Entwicklung der motorischen Lateralität	70
<b>D.3 Entwicklung der Sprachlateralität</b>	<b>73</b>
D.3.1 Entwicklung der interhemisphärischen Kommunikation	74
D.3.2 Zusammenfassung	75
<b>D.4 Diagnostik der motorischen Lateralität</b>	<b>77</b>
D.4.1 Händigkeit in Fragebögen	77
D.4.2 Händigkeit durch Verhaltensbeobachtung	78
<b>D.5 Referenzuntersuchung an N=68 männlichen Rechtshändern</b>	<b>79</b>
D.5.1 Problemstellung	79
D.5.2 Hypothesen	79
D.5.3 Methoden	79
D.5.4 Ergebnisse	81
D.5.5 Diskussion: Referenzuntersuchung, N=68 Rechtshänder	85
<b>D.6 Händigkeit, vestibuläre Asymmetrie und dichotisches Hören</b>	<b>87</b>
D.6.1 Vestibuläre Asymmetrie: Unterberger Tretversuch (UT)	87
D.6.2 Händigkeit und der Unterberger Tretversuch (UT)	87
D.6.3 Problemstellung: Vestibuläre Asymmetrie und dichotisches Hören	88
D.6.4 Hypothesen	88
D.6.5 Methoden	89
D.6.6 Ergebnisse	90
D.6.7 Diskussion	92
<b>D.7 Effekte von motorischer Lateralität und Geschlecht</b>	<b>93</b>
D.7.1 Problemstellung	93
D.7.2 Hypothesen	93
D.7.3 Methoden	94
D.7.4 Ergebnisse	94
D.7.5 Diskussion	95
<b>E Klinische Erprobung</b>	<b>96</b>
<b>E.1 Effekte temporo-mesialer und temporo-lateraler Läsionen</b>	<b>96</b>
E.1.1 Problemstellung	96
E.1.2 Hypothesen	99
E.1.3 Methoden	101
E.1.4 Ergebnisse	106
E.1.5 Diskussion	113
<b>F Zusammenfassung</b>	<b>115</b>
<b>G Literaturverzeichnis</b>	<b>120</b>
<b>H Anhang</b>	<b>127</b>

## Abbildungen

Abbildung B-1 Antwortmöglichkeiten im FRWT: Stimulus- und Ohr-Dominanz .....	9
Abbildung C-1 Itemerstellung und Ediervorgang. ....	13
Abbildung C-2 Itemanalyse, rechtshändige Kontrollgruppe, Erhebung 1a, N=12, 5m, 7w .....	20
Abbildung C-3 Itemanalyse FW21a, Gesamtgruppe 12 Kontrollen, 23 Patienten, Erhebung 1b .....	21
Abbildung C-4 Itemanalyse FW21a, stud. Gruppe, Erhebung 2.....	22
Abbildung C-5 Rechenbeispiel, Asymmetrie gegenüber der Binomialverteilung .....	26
Abbildung C-6 E2s, Spontan-Gruppe, 2-faktorielle Varianzanalyse (Ohrseite x Zyklusphase).....	39
Abbildung C-7 E2p, 2-faktorielle Varianzanalyse (PG, Ohrseite x Zyklusphase).....	40
Abbildung C-8 Erhebung 3, Rechts-Ohr-Vorteile nach Geschlecht u. Untersuchungszeitpunkt.....	42
Abbildung C-9 E4, Effekte der Zyklus-Phase x Ohr-Seite, FW10a.....	44
Abbildung C-10 Produkt-Moment Korrelation zwischen FW10b und FW12k (N=33).....	49
Abbildung D-1 Verteilung der Kindslagen bei Geburt .....	66
Abbildung D-2 Fixierung im letzten Drittel der Schwangerschaft.....	67
Abbildung D-3 Beschleunigungsverhältnisse beim Gehen .....	68
Abbildung D-4 Schematische Darstellung der macula utriculi des Kindes. ....	69
Abbildung D-5 Motorische Rechtswendigkeit von Rechtshändern .....	71
Abbildung D-6 Schema der homotopischen callosalen Inhibition. ....	75
Abbildung D-7 Verteilungsformen der Handbevorzugung .....	78
Abbildung D-8 zLambda Kategorien, rechts links, bilateral, N=68 Rechtshänder .....	82
Abbildung D-9 Rechts-Ohr-Vorteil, N=68 männliche Rechtshänder, FW10b .....	83
Abbildung D-10 Ohrpunkte in den Durchgängen, N=68 Rechtshänder, FW10b .....	83
Abbildung D-11 Unterberger Tretversuch und Händigkeit.....	91
Abbildung D-12 Korrelation LQ-EHI und Lambda FW10b, N=22 .....	94
Abbildung E-1 Läsions- und Dominanzeffekt (Schulhoff & Goodglass, 1969) .....	98
Abbildung E-2 ANOVA, N=44, Ohr-Punkte x temp. Pathologie x Anfalls-Ursprung .....	109
Abbildung E-3 N=44, Läsionseffekt, Lambda-Werte bei linksseitiger Wada-Sprachdominanz .....	112

## Tabellen

Tabelle C-1 Laut-Kontraste der 56 Ausgangspaarungen .....	12
Tabelle C-2 FW21a, Rechtshändige Kontrollgruppe, Erhebung 1a, N=12, 5m, 7w, .....	17
Tabelle C-3 FW21a, Rechtshändige Kontrollgruppe, Erhebung 2, N=62, 14m, 48w, .....	18
Tabelle C-4: t-Test für gepaarte Stichproben (E2, fw21deb62 2.sta) .....	18
Tabelle C-5: Wilcoxon-Test gepaarte Stichpr. (E2, fw21deb62 2.sta).....	18
Tabelle C-6 FW21a, Rechtshändige Kontrollgruppe, Erhebung 3, N=28, 14m, 14w .....	19
Tabelle C-7 t-Test für gepaarte Stichproben (E3, fw21frie28ehi) .....	19
Tabelle C-8 Wilcoxon-Test gepaarte Stichpr. (E3, fw21frie28ehi).....	19
Tabelle C-9 Innere Konsistenz FW21a .....	31
Tabelle C-10 Korrelationen bei Testwiederholung, FW21a, Erhebung 2 und 3. ....	34
Tabelle C-11 Übersicht der Zyklusstudien .....	38
Tabelle C-12 E2s, Gruppe mit spontanem Zyklus, FW21a.....	39
Tabelle C-13 Pillen-Gruppe, FW21a .....	40
Tabelle C-14 Erhebung 3, spontan-Gruppe, Deskriptive Statistik .....	41
Tabelle C-15 Erhebung 3, Spontan-Gruppe, Varianzanalyse.....	42
Tabelle C-16 Mittelwerte bei Testwiederholung, nach Geschlecht und Studie, FW21a.....	43
Tabelle C-17 E4, Gruppe mit spontanem Zyklus, FW10a .....	43
Tabelle C-18 Lateralisierungskategorien links, rechts, bilateral, Mehrfeldertafel .....	49
Tabelle C-19 Mittelwerte der Ohrpunkte und $\lambda$ -Werte in den Parallelförmigen .....	50
Tabelle C-20 Lateralisierungsstärke (FW10b, FW12k), t-Test der z-Lambda-Werte .....	51
Tabelle C-21 Mittelwerte und Streuungen der $\lambda$ -Werte (FW21a), .....	58
Tabelle C-22 Kreuztabelle, Wada-Test und dichotischer Test (FW21a) .....	58
Tabelle D-1 Verteilung der Rechtshandpunkte im EHI der N=68 Rechtshänder.....	80
Tabelle D-2 Deskriptive Vergleichsdaten, männliche Rechtshänder, N=68, FW10b .....	81
Tabelle D-3 Korrelationen der Ohr-Punkte aus den 8 Durchgängen, FW10b, N=68 .....	85
Tabelle D-4 Deskriptive Statistik, Unterberger Tretversuch.....	90



Tabelle D-5 Zellbesetzung, Händigkeit und Geschlecht, N=22 .....	94
Tabelle D-6 Varianzanalyse, Händigkeit und Geschlecht, N=22 .....	94
Tabelle E-1 Ideales-unrealistisches, voll-faktorisierendes Untersuchungs-Design .....	102
Tabelle E-2 Realisiertes varianzanalytisches Untersuchungs-Design .....	103
Tabelle E-3 Untersuchungsgruppen mit temporaler Pathologie, N=44 .....	104
Tabelle E-4 t-Tests der Alters- und Zeitvariablen, N=44 .....	105
Tabelle E-5 N=5 non-dextrale Patienten in den mesialen und lateralen Gruppen .....	105
Tabelle E-6 t-Test, EHI-LQ, mesiale u. laterale Pathologie, Anfalls-Ursprung links u. rechts .....	106
Tabelle E-7 N=44, Deskriptive Daten, LOP und ROP, in den 4 Untersuchungsgruppen .....	107
Tabelle E-8 N=44, Gesamtmodell, Ohrpunkte x temp. Pathologie x Anfalls-Ursprung .....	107
Tabelle E-9 N=44, Levene-Test, Varianzhomogenität der Rechts-Ohr-Punkte .....	107
Tabelle E-10 N=44, Varianzanalyse, Ohr-Punkte x temporale Pathologie x Seite Anfall-Ursprung ...	108
Tabelle E-11 Kontraste mesial vs. lateral, t-Tests, Ohrpunkte .....	110
Tabelle E-12 Kontraste mesial vs. lateral, Mann-Whitney U-Tests, Ohrpunkte .....	110
Tabelle E-13 N=44, Deskriptive Daten, Lambda-Werte, in den 4 Untersuchungsgruppen .....	111

## Anhang

Anhang H-01 Die 21 Wortpaare der Serie FW21a .....	127
Anhang H-02 Itemanalyse FW21a, Innere Konsistenz, ROP (E1) .....	128
Anhang H-03 Itemanalyse, Innere Konsistenz, für Links-Ohr-Punkte (E1) .....	129
Anhang H-04 Neuropsychologische Testbatterie, Epilepsiechirurgie Berlin .....	130
Anhang H-05 Instruktion FW10B .....	131
Anhang H-06 Instruktion FW12K .....	132
Anhang H-07 Instruktion zum Unterberger Tretversuch .....	133
Anhang H-08 Händigkeitsfragebogen EHI (Oldfield 1971) .....	133
Anhang H-09 Bryden Score .....	134
Anhang H-10 Durchführung des IAT (Wada-Tests, Bethel Cleveland Protokoll) .....	134
Anhang H-11 Itemanalyse, Referenzstichprobe, N=68 Rechtshänder .....	136
Anhang H-12 Innere Konsistenz der Wortpaare bei Wiederholung (FW10b) .....	137
Anhang H-13 N=44, EHI-LQ Händigkeit in den Untersuchungsgruppen .....	137
Anhang H-14 N=44, mesiale und laterale Pathologie, Alters und Zeitvariablen .....	138

## A Einleitung und Zielsetzung

Vor einem epilepsiechirurgischen Eingriff ist die Erfassung der Sprachlateralisierung des Patienten unverzichtbar. Welche Verfahren dabei zum Einsatz kommen, hängt einerseits von ihrer Verfügbarkeit, aber auch wesentlich von den Eigenschaften des Probanden ab. Häufig sind es Geistes- und Lernbehinderungen, Analphabetismus sowie Verständigungs- und Kooperationsprobleme, die es nicht erlauben, elaborierte und lokalisierende Paradigmen zum Einsatz zu bringen. Auch bei Kindern kann die Durchführung von Wada-Test, oder von fMRT und Transcranieller Stereo Doppler Sonographie Paradigmen Schwierigkeiten bereiten. Ein epilepsiechirurgisches Zentrum wird sich daher nicht auf ein Verfahren für alle Patienten beschränken können. Darüberhinaus können sich die Aussagen der verschiedenen Lateralisierungsbestimmungen am Einzelfall gegenseitig stützen, um zu einer validen Diagnose aus konvergierenden Befunden zu kommen.

Zur Erfassung der Sprachlateralisierung in der präoperativen epilepsiechirurgischen Diagnostik soll ein deutscher dichotischer Hörtest entwickelt und erprobt werden, der nach dem Prinzip synchronisierter Reimwörter aufgebaut ist (Fused Rhymed Words Test, FRWT). Ein dichotischer Hörtest mit diesem Testprinzip stellt vergleichsweise geringe Anforderungen an den Probanden, er ist nicht-invasiv, hat nur geringe geräte-technische Voraussetzungen, und er kann problemlos wiederholt werden. Er ergänzt so das methodische Inventar eines epilepsiechirurgischen Zentrums zur Bestimmung der Sprachlateralität.

Kanadische Studien konnten die Ergebnisse der Sprachlateralisierung durch einen Wada Test wiederholt mit einem FRWT valide replizieren.

Es besteht Uneinigkeit darüber, ob die Lateralisierungsergebnisse eines FRWT durch vorbestehende Läsionen der epilepsiechirurgischen Kandidaten moduliert werden. Einige Studien mit anderen dichotischen Testprinzipien zeigten, dass eine

unilaterale Hirnschädigung unter dichotischer Stimulation die Wahrnehmung des Stimulus auf dem kontralateralen Ohr tendenziell unterdrückt und so das Lateralisierungsergebnis des dichotischen Tests verändert. Die Hirnregionen, die bei verbal-dichotischer Stimulation besonders beteiligt sind, sind nicht bekannt. Falls nur bestimmte Läsionsorte einen Läsionseffekt erzeugen, können die in einer Gruppenstudie bei einigen Patienten tatsächlich bestehenden Läsionseffekte nivelliert werden. Es ist daher naheliegend, zu untersuchen, ob die individuelle Läsionskonstellation eines Patienten darüber entscheidet, ob ein Läsionseffekt auftritt oder nicht.

Das dichotische Stimulusmaterial soll nach dem Prinzip des FRWT aus digital bearbeiteter natürlicher Sprache erstellt werden. Es soll überprüft werden, ob das Stimulusmaterial in der Lage ist, bei gesunden Rechtshändern die erwarteten Ohrvorteile zu erzeugen und ob es bei Testwiederholung reliable Ergebnisse liefert. Die Übereinstimmung des dichotischen Tests mit einem Paralleltest und mit dem Sprachlateralisierungsergebnis des Wada Tests soll ermittelt werden.

Da die Ergebnisse des zu entwickelnden Tests in spezifischer Weise zur Händigkeit und Sprachlateralisation stehen müssen, sollen die für die Arbeit wesentlichen Befunde der Lateralitätsforschung einführend dargestellt werden (D.1-D.3). Weitere Literatur wird in den Abschnitten zu den jeweiligen speziellen Fragestellungen referiert.

In der klinischen Erprobung des Tests soll herausgearbeitet werden, wie sich die morphologischen Veränderungen des Temporallappens bei den epilepsiechirurgischen Kandidaten auf das Lateralisierungsergebnis im dichotischen Test auswirken (Abschnitt E). Insbesondere sollen temporo-mesiale (Hippocampus-Sklerose) und temporo-laterale Läsionen (Tumore, regionale Dysplasien, Migrationsstörungen) in ihrer Auswirkung auf das dichotische Lateralisationsergebnis verglichen werden.

## B Dichotisches Hören

Bei einer binauralen Wahrnehmung erreicht der Schall, der von einer Quelle im Raum ausgeht, beide Ohren. Dabei sind die akustischen Stimulationen der beiden Ohren zwar nicht identisch, aber sie sind auf charakteristische Weise ähnlich bzw. sie sind hoch miteinander korreliert. Die Stimulation auf dem Ohr, das der Schallquelle zugewendet ist, ist lauter, als die auf dem abgewendeten Ohr, wo der Schalleindruck durch den Schädel gedämpft wird. Der Schall erreicht das abgewendete Ohr aber auch mit einer minimalen Laufzeitverzögerung. Zwischen Laufzeit- und Intensitätsdifferenzen besteht innerhalb bestimmter Grenzen eine "trading function". Aus der Verschiedenheit der Höreindrücke und ihrer gleichzeitigen Korreliertheit, konstruiert das Gehirn eine Anordnung der Schallquellen im Raum und schafft so eine räumliche akustische Umgebung. Neuronal basiert das räumliche Hören bzw. die Schalllokalisation auf einem Vergleich des ipsilateralen mit dem kontralateralen Höreindruck, von dem angenommen wird, dass es im Verlauf der Hörbahn erst nach den Nuclei Lemnisci laterales entsteht (Gerull & Mrowinski 1984, [01]). Um räumlich zu hören, benötigen wir zwei Ohren und eine entsprechende binaurale Stimulation - aber es reicht aus, wenn lediglich eines der beiden primären Hörzentren auf dem linken oder rechten Temporallappen intakt ist.

Fehlt diese charakteristische Orts-Korrelation zwischen den Höreindrücken auf beiden Ohren, spricht man von einer dichotischen Stimulation. Unter dichotischer Stimulation versteht man eine zeitgleiche aber unterschiedliche - unkorrelierte - Stimulation der beiden Ohren. Eine dichotische Stimulation kann auch als eine simultane bilateral-monaurale Stimulation verstanden werden. Unter natürlichen Bedingungen kommt es zu monauralen Wahrnehmungen nur bei schwellenwertigen Lautstärken, die zwar auf dem der Schallquelle zugewandten Ohr noch wahrgenommen werden können, jedoch zu leise sind, um gleichzeitig auch das abgewandte Ohr zu stimulieren. Überschreiten dichotische Stimulationen eine bestimmte Lautstärke, so

stellen sie artifizielle Stimulationen dar, die unter natürlichen Bedingungen nicht vorkommen.

### B.1 Geschichtliche Entwicklung

Das sprach-dichotische Hören war ursprünglich im Zusammenhang mit Experimenten zur willentlichen (selektiven) Aufmerksamkeitslenkung bei Fluglotsen von Broadbent (1954, [02]) entwickelt worden. Aber erst Doreen Kimura (1961a, [03]) setzte diese Technik bei epilepsiechirurgischen Kandidaten ein, die vor der Operation ebenfalls einen Wada - Test absolviert hatten. Sie konnte zeigen, dass Patienten mit einer rechtshemisphärischen Sprachrepräsentation die Ziffernfolgen vom linken Ohr besser wiedergaben, während Patienten mit einer linkshemisphärischen Sprachrepräsentation mehr Items vom rechten Ohr nannten. Dieser Effekt trat bei den Patienten - bei bekannter Sprachlateralisation - unabhängig von der Händigkeit der Patienten auf. In einer weiteren Studie setzte sie diese Methode bei Gesunden ein (Kimura 1961b, [04]) und stellte fest, dass die Mehrheit eine Überlegenheit des rechten Ohres zeigte (Rechts-Ohr-Vorteil, ROV). Kimura stellte aufgrund dieser Beobachtungen die Hypothese auf, dass bei dichotischer Stimulation die ipsilaterale Hörbahn unterdrückt wird.

Als Milner et al. (1968, [05]) Split-Brain-Patienten mit dichotischen Stimuli untersuchte, machten sie eine weitere wichtige Beobachtung. Im Gegensatz zu Versuchspersonen mit einem intakten Corpus Callosum zeigten die Split-Brain-Patienten einen extremen, meistens sogar maximalen Rechts-Ohr-Vorteil (Springer & Gazzaniga 1975, [06]). D. h. die Patienten verhielten sich so, als ob sie bei dichotischer Stimulation nur noch die Stimuli wahrnahmen, die vom dem Ohr kamen, das kontralateral zur sprachdominanten Hemisphäre lag. Wäre die ipsilaterale Hörbahn beim dichotischen Hören aktiv, so müsste bei Split-Brain-Patienten über diese Bahn auch Informationen vom linken Ohr in die linke, sprachdominante Hemisphäre gelangen können. Es müsste also auch zu Wahrnehmungen von dem Ohr kommen, das ipsilateral zur sprachdominanten Hemisphäre liegt.

Obwohl Kimura's Hypothese konsistent ist mit zahlreichen klinischen Beobachtungen, bleibt es unklar, warum bei dichotischer Stimulation die ipsilaterale Hörbahn

unterdrückt wird. Wenn man sich aber vergegenwärtigt, dass das räumliche Hören stets auf einem Vergleich der korrelierten ipsi- und kontralateralen Höreindrücke beruht, so wird verständlich, dass mit dem Verlust der Korreliertheit eine völlig neue Wahrnehmungssituation geschaffen wird. Dem wahrnehmenden System gelingt es bei (unkorrelierter) dichotischer Stimulation nicht, die beiden Höreindrücke als von einer Schallquelle im Raum kommend zu interpretieren. Man kann spekulieren, dass das wahrnehmende System infolge fehlenden Korreliertheit bzw. wegen ihrer Diskrepanz die Lokalisationsfunktion für diesen Stimulus einstellt, indem es den Input der schwächeren ipsilateralen Hörbahn unterdrückt. Der Vergleichsprozess zwischen dem ipsilateralen und kontralateralen Input, die "Orts-Fusion", wird nicht aktiviert. Das Phänomen der Unterdrückung des ipsilateralen Inputs bei dichotischer Stimulation wäre aus dieser Sicht vergleichbar mit der Unterdrückung der visuellen Informationen eines Auges, wenn z. B. durch eine Schielstellung ein bestimmtes Maß an Übereinstimmung ("Korreliertheit") der beiden Seheindrücke unterschritten wird.

Im Bereich der physiologischen Hörforschung gibt es eine umfangreiche Literatur zum dichotischen Paradigma des "Masking Noise Level". Der Versuchsperson wird zunächst auf beiden Ohren ein reiner Sinuston in gleicher Lautstärke dargeboten. Danach überlagert man den Sinuston auf beiden Ohren mit Rauschen, bis die Versuchsperson angibt, auf beiden Ohren den Sinuston im Rauschen nicht mehr hören zu können - also nur noch Rauschen zu hören glaubt. Nun schaltet man den Sinuston auf einem Ohr ab. Dabei kommt es zu dem Phänomen, dass die Versuchsperson den Sinuston auf dem anderen Ohr nun wieder hört, obwohl weder an den Lautstärken des Rauschens noch an der des Sinustones etwas verändert wurde. Zwischen dem dichotischen Hören der physiologischen Hörforschung, dem räumlichen Hören und den sprach-dichotischen Untersuchungen im Rahmen der Lateralitätsforschung bestehen praktisch keine Verbindungen. Die Literatur wird von den in diesen Feldern tätigen Wissenschaftlern wechselseitig kaum rezipiert, und es gibt bisher keine, alle Bereiche umfassende, Theorie des dichotischen Hörens.

Die Beobachtungen Kimura's legten es nahe, die sprach-dichotische Technik als nichtinvasive Methode weiter zu entwickeln, um bei Probanden mit gesunden Gehir-

nen die Sprachlateralisierung zu erfassen. Dieses Ziel hat hunderte von wissenschaftlichen Studien stimuliert und zur Entwicklung von mehreren sprachlichen und nicht-sprachlichen dichotischen Methoden geführt (Bryden 1988). Allein für sprachliche Stimuli bei Gesunden konnte Williams (1989, [07]) bibliographisch 134 Studien in wissenschaftlichen Zeitschriften nachweisen.

## **B.2 Synchronisierte Zahlenreihen**

Broadbent (1954, [02]) bot den Versuchspersonen zeitgleich auf den beiden Ohren verschiedene synchronisierte Ziffernfolgen über Kopfhörer dar (z. B. "2 - 5 - 3" auf dem einen Ohr und "7 - 1- 4" auf dem anderen). Wurden die Ziffern mit einer hohen Rate dargeboten (2 / sec. / Ohr), dann neigten die Versuchspersonen dazu, zuerst die Ziffern von dem einen Ohr ("253") und dann vom anderen Ohr ("714") zu reproduzieren.

Bei dieser Methode kam es zu deutlichen Kurzzeitgedächtniseffekten, da die Probanden bevorzugt zunächst die Zahlen vom dominanten Ohr berichteten und erst danach die vom nicht dominanten Ohr (sog. Broadbent-Effekt). Das Verfahren unterschätzte systematisch die Wahrnehmungsleistung des nicht-dominanten Ohres, da einige der dort tatsächlich wahrgenommenen Zahlen noch bevor sie genannt werden konnten, bereits wieder aus dem Kurzzeitgedächtnis entfallen waren. Die Technik der dichotischen Darbietung war in ihren Anfängen eng mit der Entwicklung der Zwei-Kanal Tonbandtechnik verknüpft. Spätere Analysen solcher Darbietungsbänder zeigten jedoch, dass aufgrund technischer Mängel eine exakte Synchronisation der Stimuli meist nicht gegeben war (Bryden 1988, [35]).

## **B.3 Synchronisierte Silben**

Diese technischen Schwierigkeiten konnten erst mit der Entwicklung der Computertechnik durch digitalisierte Sprachaufnahmen und auf die Millisekunde genau synchronisierten Silben behoben werden. Einer der ersten Tests war der Konsonant-Vokal-Konsonant (CVC) Silben-Test von Studdert-Kennedy & Schankweiler (1970). In den Silben-Tests waren die Kurzzeitgedächtniseffekte zwar eliminiert, aber es bestand weiterhin eine Konfundierung durch Aufmerksamkeitsfaktoren. Die Versuchspersonen können bei synchronisierten Silben allein durch eine entsprechende Instruktion ihre Aufmerksamkeit selektiv auf das eine oder andere Ohr ausrichten und dadurch signifikante Verbesserungen auf dem kontrollierten Ohr erreichen. Dichoti

sche Silbentests müssen deshalb meist unter 3 Instruktionsbedingungen durchgeführt werden: unter fokussierter Aufmerksamkeit nach links, nach rechts und unter geteilter Aufmerksamkeit auf beiden Ohren (Hugdahl & Hammar 1997, [08]).

#### **B.4 Fused Rhymed Words Test**

In der Nachfolge zu den dichotischen Experimenten mit Konsonant-Vokal-Konsonant (CVC) Silben von Studdert-Kennedy & Schankweiler (1970, [09]) war von Wexler & Halwes (1983, [10]) das Konzept der Silben auf sich reimende, einsilbige Wörter übertragen worden (Fused Rhymed Words Test, FRWT). So wurden neben den phonologischen Merkmalen auch wieder semantische Aspekte in das Stimulusmaterial eingeführt. Damit sollte ein klinisches Forschungsinstrument geschaffen werden, das valider und reliabler sein sollte als die bisherigen Silben-Verfahren. Darüberhinaus scheint dieses dichotische Testprinzip, im Vergleich zu synchronisierten Konsonant-Vokal-Silben-Tests, wesentlich weniger von der selektiven Aufmerksamkeit konfundiert zu werden (Asbjornsen & Bryden 1996, [11]).

Das Verfahren (FRWT) wurde von Wexler & Halwes (1983, [10]) an großen Gruppen rechts- und linkshändiger Personen erprobt (194 Rechtshändern und 175 Linkshändern im Alter von 15 bis 67 Jahren). Es war in der Lage, bei 85% der Rechtshänder einen signifikanten Rechts-Ohr-Vorteil nachzuweisen (ROV=85% Links-Ohr-Vorteil LOV=12%, kein Ohrvorteil 3%). Damit wurden Zahlenverhältnisse erreicht, die den Häufigkeiten von Sprachstörungen bei neurologischen Patienten mit entsprechender Schädigungsseite entsprachen. In der Gruppe der Linkshänder zeigten sich erwartungsgemäß vermehrt LOV (29%). Auch die Re-Test-Reliabilität des Verfahrens lag mit  $r = 0.85$  in akzeptabler Höhe. Dieser digital bearbeitete "Fused Rhymed Words Test (FRWT)" erlangte in den USA und Kanada durch die Übertragung auf Tonbänder eine weite Verbreitung und bekam dadurch eine gewisse Referenz-Funktion für andere sprach-dichotische Methoden. Durch den Einsatz dieses Tests in der präoperativen epilepsiechirurgischen Diagnostik war es möglich, die Ergebnisse der Sprach-Lateralisierungs-Diagnostik aus dem FRWT mit der aus dem Wada-Test (Loring et al. 1992, [12]) zu vergleichen. Zatorre (1989, [13]) berichtete von epilepsie



chirurgischen Patienten, die präoperativ sukzessiv-bilateral mit dem Wada-Test untersucht wurden. Er beobachtete eine hohe Übereinstimmung von 94% zwischen den Wada-Lateralisierungs-Kategorien links, rechts und bilateral und dem Klassifikationsergebnis aufgrund des FWRTs, wenn Patienten mit strukturellen Läsionen ausgeschlossen wurden. Schwierigkeiten bereitete die Zuordnung der Patienten, die im Wada-Test als bilateral klassifiziert worden waren. In der Gruppe der „bilateralen“ Patienten wurden im dichotischen Test von mehreren Probanden Lateralitätswerte erreicht, die denen aus der Kategorie „linkslateralisiert“ entsprachen. Trotzdem stellte dieses Ergebnis insgesamt einen weiteren wichtigen Validitätsnachweis für den FRWT dar, der es nahelegte, eine Nachkonstruktion mit deutschen Wörtern vorzunehmen.

### B.5 Das Testkonzept des FRWT

Die ursprünglichen Versionen des FRWT von Johnson et al. (1977, [14]) sowie von Halwes (1969, [15]) wurden von Wexler & Halwes (1983, [10]) zu einem neuen FRWT weiterentwickelt. Der Test bestand aus einsilbigen sich reimenden Hauptwörtern, die sich nur im Anfangskonsonanten unterschieden (z.B. coat und goat). Nach mehreren Selektionsvorgängen blieben im amerikanischen FRWT 15 Wortpaare übrig (pen-ten, deer-tear, pit-kit, bill-pill, can-pan, coat-goat, bar-car, cage-page, keg-peg, book-cook, pig-dig, boy-toy, pail-tail, beer-pier, curl-pearl). Wenn ein solches Wortpaar einer Versuchsperson zeitgleich über Kopfhörer dichotisch (z.B. links coat und rechts goat) dargeboten wird, dann entsteht der Höreindruck eines einzigen "in der Mitte des Kopfes" verschmolzenen (engl. fused) Wortes (entweder nur coat oder nur goat). Das jeweils wahrgenommene Wort eines Wortpaares wird zunächst als einfacher Ohr-Punkt der entsprechenden Seite gezählt (eOPL, eOPR).

Jedes Wortpaar wird in einem Durchgang sowohl in der originalen (O) als auch in der seitenvertauschten bzw. umgekehrten (U) Anordnung dargeboten. Somit ergeben sich aus der Beantwortung der beiden zusammengehörigen Darbietungen 4 verschiedene Antwortmöglichkeiten, zwei die als Ohr-Dominanz bzw. Ohr-Treue und zwei die als Stimulus-Dominanz bzw. Wort-Treue bezeichnet werden (Abbildung B-1, S. 9). Zur Auswertung für die Sprachlateralisierung kommen die als Ohr-Dominanz bezeichneten Ereignisse (Halwes 1986, [16]). Ohr-Dominanz liegt vor, wenn in einem Durchgang bei einem Wortpaar bei beiden Anordnungen eine "Ohr-Treue" auftritt, die Versuchsperson also bei einem Wortpaar in beiden Anordnungen (O u. U) stets das Wort von einem Ohr nennt, unabhängig davon, welches Wort des

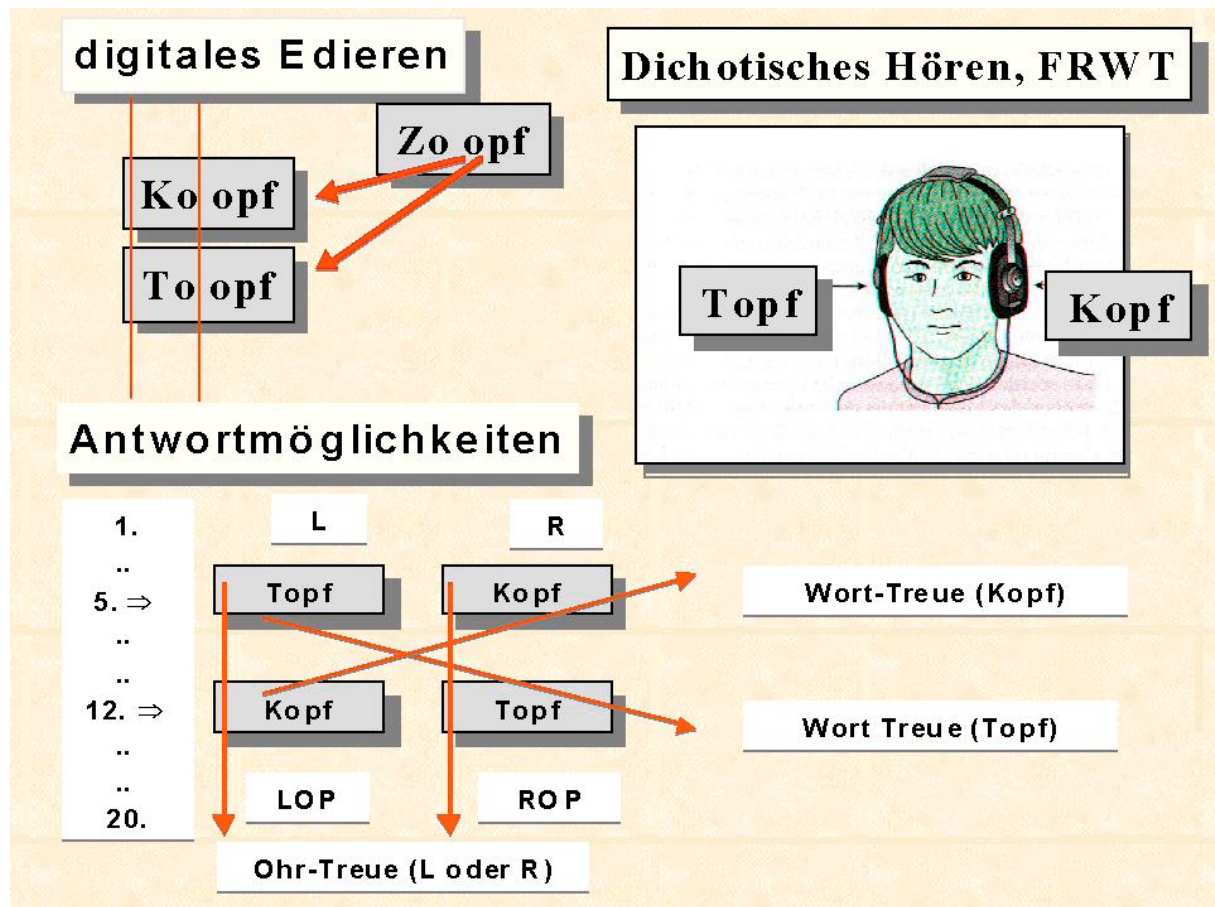


Abbildung B-1 Antwortmöglichkeiten im FRWT: Stimulus- und Ohr-Dominanz

Abbildung B-1 In der linken Hälfte der Abbildung ist beispielhaft und auszugsweise von oben nach unten die Darbietungsliste für einen Durchgang dargestellt. Das Item „Kopf - Topf“ wurde etwa an 5. Position dargeboten. Später, im selben Durchgang etwa an 12. Position wird es noch einmal in umgekehrter Orientierung dargeboten. Aus jeder Darbietung ergibt sich als Antwort nur ein Wort. Die beiden Antwortmuster für Stimulusdominanz (5. Kopf u. 12. Kopf oder 5. Topf u. 12. Topf) tragen nichts zur Aufklärung der Sprachlateralisierung bei. Das Auftreten von "Ohr-Treue" ergibt die Ohr-Dominanz- Punkte (ODPL bzw ODPR).

Paares dort gerade dargeboten wurde. In der amerikanischen Version bestand ein Durchgang aus 30 dichotischen Darbietungen (15 Wortpaare in den beiden Seitenanordnungen). Im gesamten Test wurden 4 Durchgänge absolviert (120 Darbietungen, maximal 60 Ohr-Dominanz-Punkte).

## **C Entwicklung eines dichotischen Hörtests**

Die Testentwicklung ist ein mehrstufiger approximativer Prozess. Zunächst muss dichotisches Stimulusmaterial erstellt und ausgewählt werden (Itemkonstruktion, C.1). Mit dem Stimulusmaterial müssen die erwarteten Ohrvorteile zur Darstellung gebracht werden können (Itemauswahl, C.2). Danach müssen diese sich als eine verlässlich reproduzierbare Messung einer Eigenschaft der Probanden erweisen (Reliabilität C.3-C.6). Erst wenn diese Voraussetzungen der Reliabilität gegeben sind, können die gemessenen Asymmetrien mit den Ergebnissen anderer Sprachlateralisierungsmethoden korreliert werden um sie ebenfalls als Maß für die Sprachlateralisierung interpretieren zu können (Validität C.7). Daneben soll die Beziehungen zur Händigkeit analysiert werden (D.7)

### **C.1 Die Konstruktion der dichotischen Items**

#### **C.1.1 Problemstellung: Vermeidung von Stimulus-Dominanz**

Da die Stimulus-Dominanz nichts zur Lateralisierungsfähigkeit des Tests beiträgt, sollte ihr Gesamtanteil möglichst gering gehalten werden. Leider läßt sich bei der Itemerstellung die lateralisierende Eigenschaft eines einzelnen Wortpaares bzw. seine Neigung zur Bildung der unerwünschten Stimulus-Dominanz nicht sicher an einem objektiven Parameter vorhersagen, sondern sie muß letztlich empirisch bestimmt werden. Um Stimulus-Dominanz vorbeugend zu vermeiden, wurden bei der Auswahl und Erstellung des Stimulusmaterials (der Wortpaare) zwei weitere Bedingungen berücksichtigt: die Kontrolle der Stimmhaftigkeit und die Diskontinuität der Artikulationskontur.

Unter den 15 Wortpaaren des amerikanischen Originals gibt es einige Paarungen, bei denen ein stimmhafter Anfangskonsonant mit einem stimmlosen verpaart wurde. In der Literatur finden sich jedoch Hinweise, daß bei dichotischen stimmhaft-stimmlos Paarungen häufiger das Wort bzw. die Silbe mit dem stimmlosen Konsonanten dominiert (Speaks et al. 1981, [17], Jäncke 1992, [18]). Dieses Phänomen wurde von Berlin et al. (1973, [19]) als "lag effect" bezeichnet, da bei den stimmlosen Konsonanten eine längere Voice Onset Time (VOT) besteht und der vokalische Anteil mit der großen Amplitude relativ zu den stimmhaften Konsonanten in den dichotischen

Paarungen später einträfe. Durch die spätere Ankunft dieses großamplitudigen Ereignisses würde die Bearbeitung des kontralateralen (stimmhaften) Stimulus unterbrochen, was schließlich in einer Stimulus-Dominanz des stimmlosen Wortes resultiere. Daher wurden nur reimende Wortpaare ausgewählt, die sich hinsichtlich des Merkmals der Stimmhaftigkeit nicht unterschieden (nur stimmhaft-stimmhaft oder stimmlos-stimmlos Paarungen).

Beim FRWT sind die beiden Wortenden der Wortpaare stets identisch. In der amerikanischen Version wurde dies dadurch erreicht, daß nur die Anfangssilbe bei einem der beiden Wörter abgetrennt und durch eine digitale Kopie des Wortendes des anderen Wortes ergänzt wurde. Dieses Vorgehen läßt eines der beiden Wörter völlig unberührt, während das andere immer einen Bruch in der natürlichen Artikulationskontur aufweist. Es ist vorstellbar, daß dieser Bearbeitungsunterschied zwischen den beiden Wörtern sich in einer asymmetrischen Wahrnehmungserleichterung auswirkt und so zur Stimulusdominanz beiträgt. Aus diesem Grund wurde entschieden, beide Wörter zu bearbeiten und das Wortende für beide Wörter aus einem dritten Reimwort zu entnehmen, was die Edierarbeiten jedoch mehr als verdoppelte. Ausgewählt wurden schließlich einsilbige deutsche Hauptwörter, zu denen sich 4 Reimwörter finden ließen. Der erste Item-Pool umfasste 56 solcher Vierergruppen.

### **C.1.2 Itemerstellung**

Die Wörter wurden zunächst in einem Tonstudio mit einem DAT-Recorder aufgezeichnet. Die zusammengehörigen Wörter eines Paares wurden für die deutsche Version schon bei der Aufnahme 3 mal im Wechsel aufgesprochen, um eine möglichst große Ähnlichkeit im Sprechtempo und in der Tonlage zu erreichen. Abschließend wurde ein drittes reimendes Wort aufgesprochen. (z. B. Topf - Kopf - Topf - Kopf - Topf - Kopf - Topf - Kopf - Zopf).

Die Zuordnung der 56 Wortpaare zu den Lautgruppen (Lautkontrasten) ist der Tabelle C-1 zu entnehmen.

Tabelle C-1 Laut-Kontraste der 56 Ausgangspaarungen

N	Laute	stimmlos	N	Laute	stimmhaft
11	T / K	Teil / Keil	7	B / D	Bach / Dach
11	T / P	Tracht / Pracht	10	B / G	Bier / Gier
10	P / K	Post / Kost	7	G / D	Gunst / Dunst
32			24		

Tabelle C-1 Zusammenstellungen der 32 stimmlosen und der 24 stimmhaften Lautkontraste.

### C.1.3 Digitale Bearbeitung der Wortpaare (Angleichung der Wortlänge)

Nachfolgend wurden die Wörter mit Hilfe des Sprachbearbeitungsprogrammes "SpeechLab" digitalisiert und weiter bearbeitet (Diesch 1997, [20]). Zunächst erfolgte die Segmentierung der einzelnen Wörter in getrennte Datenfiles. Die Anfangssilbe der zu paarenden Wörter und des dritten Zusatzwortes wurden innerhalb des ersten Vokals abgetrennt (z.B. **To** von Topf, und **Ko** von Kopf, **opf** von Zopf). Die Länge der zu paarenden Silben wurde verglichen und aus den alternativen die beiden ähnlichsten ausgewählt. Durch Heraustrennen von Segmenten aus dem vokalischen Anteil der längeren Silbe wurden Längenunterschiede bis auf weniger als eine Millisekunde angeglichen. Der größte Längenfehler in allen 56 Paarungen betrug 0.89 ms. Schließlich wurde das Vokal-Konsonanten-Ende des 3. Reim-Wortes an die gleichlangen Anfangssilben der ersten beiden Wörter angefügt (Abbildung C-1). Die beiden neuen Stimulus-Wörter "Kopf" und "Topf" sind nun gleichlang, unterscheiden sich phonetisch in der Anfangssilbe, sind aber ab dem Vokal völlig identisch. Als letzter Arbeitsschritt wird aus den beiden Mono-Dateien durch Multiplexen eine Stereo-Ausgabe-Datei erstellt, durch deren Abspielen eine zeitsynchrone Darbietung der beiden Wörter auf beiden Ohren erreicht wird. Insgesamt handelt es sich also nicht um synthetische Sprachstimuli, sondern um digital bearbeitete natürliche Sprache.

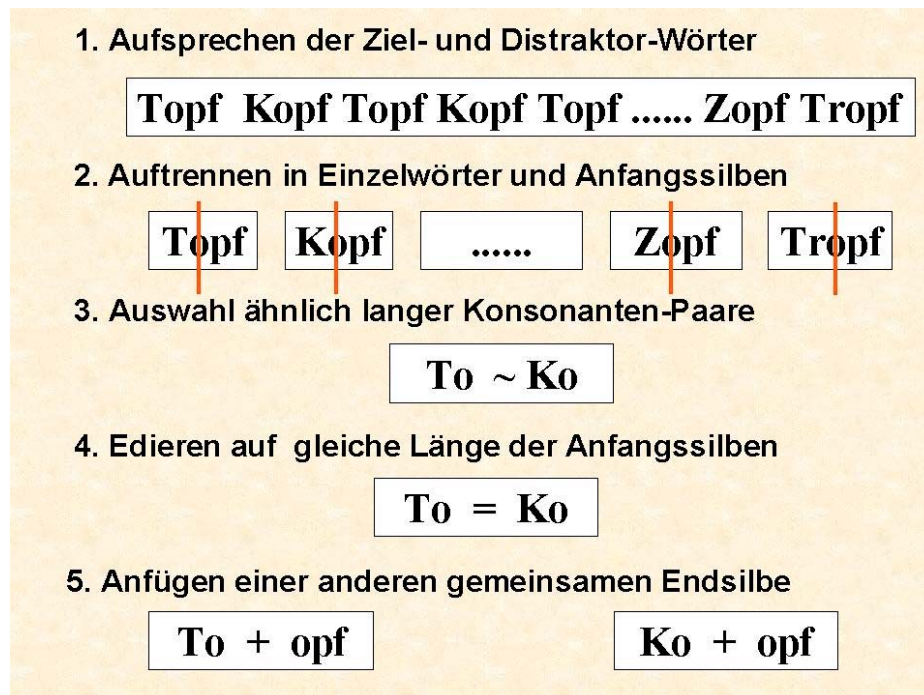


Abbildung C-1 Itemerstellung und Ediervorgang.

Abbildung C-1: Die Abbildung veranschaulicht die 5 wesentlichen Herstellungsschritte für ein Wortpaar (Item). Die zur Angleichung erforderlichen Verkürzungen oder Verlängerungen innerhalb der Anfangssilben erfolgten immer im vokalischen Anteil der Silbe. Sämtliche Digitalisierungs- und Edierarbeiten wurden mit dem Programmpaket SpeechLab (Diesch 1997, [20]) durchgeführt.

#### C.1.4 Ablauf des Tests: Objektivität von Durchführung und Auswertung

Zur Darbietung können die Wortpaare auf verschiedene Tonträger übertragen werden, um so Untersuchungen am Krankenbett oder in anderen Einrichtungen zu ermöglichen. Die Darbietung kann aber auch direkt vom PC mittels SpeechLab und Soundkarte erfolgen. SpeechLab verfügt über eine eigene Kommandosprache, mit der sich der zeitliche Ablauf von experimentellen Anordnungen über serielle und parallele Schnittstellen, Bildschirm, Keyboard und Sound-Karte steuern läßt. Dargeboten werden die Stimuli über Kopfhörer. Der Proband bekommt zunächst alle Wörter vom Untersucher vorgelesen, um die Bekanntheit sicherzustellen. Danach hört der Proband alle Wörter noch einmal in randomisierter unilateraler Darbietung vom Tonträger. Dabei soll der Proband die Wörter nachsprechen. Dies dient dem Nachweis der intakten Spracherkennung auf jedem der beiden Ohren. Dieser Abschnitt ist wichtig bei Patienten mit Hirnläsionen, besonders aber bei denen mit Balkenstörungen. Patienten mit Balkenstörungen bis hin zum Split-Brain können unter der nachfolgenden dichotischen Stimulation so extreme Ohr-Asymmetrien aufweisen, daß der

fälschliche Eindruck entstehen kann, sie könnten Sprache auf dem nicht-dominanten Ohr überhaupt nicht wahrnehmen (Wale & Geffen 1986, [21], Alexander & Warren 1988, [22], Eslinger & Damasio 1988, [23], Musiek et al. 1985, [24]).

Nun erfolgt der dichotische Testteil. Hierzu wird dem Probanden ein Antwortblatt vorgelegt, bei dem in einer Zeile immer vier sich reimende Wörter stehen (Zopf Kopf Kropf Topf), von denen zwei Wörter das dichotische Wortpaar bilden, während die anderen beiden Distraktoren darstellen (Anhang H-01, S. 127). Die Instruktion lautet wie folgt:

"Sie hören nun die gleichen Wörter, die Sie eben schon kennengelernt haben, noch einmal, aber jetzt auf beiden Ohren. Die Wörter wurden elektronisch verändert, so daß sie nicht immer ganz klar zu erkennen sind. Ihre Aufgabe ist es, die Wörter zu erkennen und nach jeder Darbietung aus der entsprechenden Zeile die entsprechende Ziffer des Wortes anzukreuzen, das sie gehört haben. Für jede Entscheidung haben sie etwa 4 Sekunden Zeit".

Bei der Darbietung vom Tonband müssen nach Ablauf des Tests die Antwortblätter ausgewertet werden. Die einzelnen Reaktionen werden in ein Schema eingetragen, aus denen die Ohr-Dominanz-Punkte hervorgehen. Bei Darbietung über den PC können die Ergebnisse maschinell ausgewertet werden. Für beide Darbietungsformen ist die Durchführungs- und Auswertungsobjektivität gegeben.

## C.2 Rechts-Ohr-Vorteil für die verbal-dichotischen Stimuli

### C.2.1 Problemstellung

Die Serie mit  $2 \times 56 = 112$  monauralen plus den  $2 \times 56 \times 4 = 448$  dichotischen Darbietungen nahm etwa eine Stunde in Anspruch und dauerte für den angestrebten Zweck eines Tests viel zu lange. Das Ziel war es daher, ungeeignete Items schnell zu erkennen und zu eliminieren. Der zukünftige Test sollte aus einer Serie mit wenigen, aber stark lateralisierenden Items bestehen, die dann in mehreren Durchgängen wiederholt dargeboten werden können. Die gesamte Dauer sollte, auch im Hinblick auf die Aufmerksamkeitsspanne von Lernbehinderten und Kindern, 20 Minuten nicht überschreiten. Mit einer reduzierten und optimierten Serie sollte an verschiedenen Gruppen rechtshändiger Probanden die Erzeugung von Rechts-Ohr-Vorteilen bei dem vorliegenden dichotischen Material demonstriert werden. Durch die Untersuchungen sollten weitere Itemselektionen ermöglicht werden.

### C.2.2 Hypothesen

Hypothese C.2-1 Rechts-Ohr-Punkte in Vorversuchen

Bei der Darbietung der neu erstellten Serie von deutschen dichotischen Wortpaaren, kann bei gesunden Rechtshändern über folgende Annahmen entschieden werden (Mittelwertsunterschiede):

**H0:** Die Anzahl der Ohr-Dominanz-Punkte vom linken und vom rechten Ohr unterscheiden sich nicht ( $ROP = LOP$ ).

**H1:** Ohr-Dominanz-Punkte vom rechten Ohr werden signifikant häufiger beobachtet als Ohr-Dominanz-Punkte vom linken Ohr ( $ROP > LOP$ ).

### C.2.3 Methoden

#### C.2.3.1 Vorversuche: 1. Itemselektion von 56 Items zur Serie FW21a

Die erste Serie mit 56 Wortpaaren in vier Durchgängen wurde nur wenigen gesunden rechtshändigen Probanden dargeboten ( $N=8$ ). Danach konnten 12 Items bereits aufgrund technischer Mängel ausgesondert werden (Knacken oder Klicken an den Schnittstellen, monaurale Unverständlichkeit der Wörter). Durch einen weiteren Selektionsschritt mit anderen  $N=8$  Rechtshändern wurden Items ausgesondert, die nur



sehr wenig Ohr-Dominanz-Punkte erbrachten. Es waren Items, bei denen die 8 Vpn in 4 Durchgängen weniger als 3 Ohr-Dominanz-Punkte zeigten ( $LOP+ROP \leq 3$ ). Hier handelte es sich um Items, die praktisch ausschließlich Stimulus-Dominanz erzeugten. Nach diesem Selektionsschritt blieben 21 Items für weitere Untersuchungen übrig (Serie FW21a).

Für die Serie FW21a wurden weiterhin die 4 Durchgänge zu insgesamt 168 dichotischen Darbietungen beibehalten ( $2 \times 21 \times 4 = 168$ , Itemserie FW21a). Die Tabelle im Anhang H-01 S. 127 enthält die Items der Serie FW21a in der Abfolge für den ersten von 4 Durchgängen. Die Liste entspricht in ihrem Inhalt dem Protokollblatt, auf dem die Probanden das subjektiv (alleinige) wahrgenommene Wort kennzeichneten. Simultan dargeboten wurden tatsächlich die beiden Wörter mit den geraden Ziffern (in Klammern), wobei das Wort mit der kleineren geraden Ziffer jeweils auf dem linken Ohr dargeboten wurde. Im Protokollbogen waren die tatsächlich dargebotenen Wörter selbstverständlich nicht gekennzeichnet. Die beiden anderen Wörter stellen die reimenden Distraktoren dar. Ein Durchgang bestand aus 42 Darbietungen, jedes der 21 Items wurde in der originalen (O) und in der umgekehrten (U) rechts/links Orientierung dargeboten.

### C.2.3.2 Versuchspersonen

In insgesamt 3 unabhängigen Erhebungen wurde die Serie FW21a in identischer Form vom Tonband an gesunden Rechtshändern eingesetzt: (E1) N=12, 7 weiblich, 5 männlich, (E2) N=62, 48 weiblich, 14 männlich, (E3) N=28, 14 weiblich, 14 männlich.

Die Probanden wurden nach evtl. Hörbeeinträchtigungen befragt und absolvierten ein Screening der Hörfähigkeit für die Frequenzen 500, 1000, 2000 und 4000 Hz (Pendelaudiometrie). In den Gruppen befanden sich keine Probanden mit Hörbeeinträchtigungen in den überprüften Frequenzen. Die weiblichen Probanden der Studien (2) und (3) wurden im Zusammenhang mit zyklusabhängigen Lateralitätsveränderungen untersucht. Jeweils die Hälfte war während der lutealen und der menstruellen Phase untersucht worden. Im Abschnitt 0, S. 36 wird das Vorgehen bei diesen

Gruppen eingehender beschrieben. Die hier in C.2 dargestellten Daten zum Rechts-Ohr-Vorteil bei Rechtshändern kommen aus der ersten von 2 dichotischen Untersuchungen in den Erhebungen (2) und (3). D. h. die in C.2 zusammengestellten Daten kommen alle aus Untersuchungen, in denen die Probanden zum erstenmal mit dem dichotischen Test FW21a untersucht wurden.

#### C.2.4 Ergebnisse 1: Rechts-Ohr-Vorteile für rechtshändige Kontrollgruppen

**Erhebung 1a** (N=12, 7 weiblich, 5 männlich): Betrachtet man die kleine rechtshändige Kontrollgruppe von außeruniversitären Berufstätigen alleine, so zeigte sie bei den ausgewählten 21 Items hochsignifikante Rechts-Ohr-Vorteile (ROP=19,66 LOP=2,83, t-Test ROP/LOP,  $t=4,8$  FG=11,  $p=0,00051$ ). Der mittlere Lambda-Wert (Lambc) war entsprechend positiv (Lambda=2,02), die mittlere Fehlerzahl von 0,6% (0,5 / 84) war vernachlässigbar gering. Die H1 der Hypothese C.2-1 konnte somit bestätigt werden.

Tabelle C-2 FW21a, Rechtshändige Kontrollgruppe, Erhebung 1a, N=12, 5m, 7w,

Variable	Gült. N	Mittelw.	Stdabw.	Std.Fehler
LAMBC	12	2,02	1,14	0,331937
ROP	12	19,66	10,57	
LOP	12	2,83	2,16	

Tabelle C-2 Mittelwerte und Streuungen des Lateralitätsindex Lambda und der Ohr-Dominanzpunkte ROP und LOP. Darbietung vom Tonband über Kopfhörer. Der Standardfehler des Lambda-Wertes (Std.Fehler des Mittelwertes, Stichprobenfehler) ist der Quotient, durch den die individuellen Lambdawerte dividiert werden, um den z-Wert von Lambda zu erhalten ( $z\lambda$ ).

**Erhebung 2** (N=62, 48 weiblich, 14 männlich): In dieser fast ausschließlich studentischen Gruppe lateralisierte der Test am schlechtesten. Wie sich in der nach dem Geschlecht getrennten Analyse zeigte, waren es die N=48 Frauen, die im Mittel die schwächsten Rechts-Ohr-Vorteile zeigten. Diese Gruppe war nur durch ein schwaches Kriterium für Rechtshändigkeit gekennzeichnet (Rechtshandpunkte > Linkshandpunkte).

Tabelle C-3 FW21a, Rechtshändige Kontrollgruppe, Erhebung 2, N=62, 14m, 48w,

Variable	Gült. N	Mittelw.	Stdabw.	Std.Fehler
<b>LAMBC</b>	62	0,65	1,83	0,233165
<b>ROP</b>	62	10,61	11,08	
<b>LOP</b>	62	5,74	5,80	

Tabelle C-3: Mittelwerte und Streuungen des Lateralitätsindex Lambda und der Ohr-Dominanzpunkte ROP und LOP. Darbietung vom Tonband über Kopfhörer. Der Standardfehler des Lambdawertes (Std.Fehler des Mittelwertes, Stichprobenfehler) ist der Quotient, durch den die individuellen Lambdawerte dividiert werden, um den z-Wert von Lambda zu erhalten ( $z_\lambda$ ).

Trotzdem war für die Gesamtgruppe der N=62, sowohl mit einem parametrischen t-Test als auch mit dem Wilcoxon-Test für gepaarte Stichproben, signifikante Mittelwertsunterschiede zugunsten der ROP nachweisbar ( $\alpha=0.05$ ). Die H1 der Hypothese C.2-1 konnte auch hier bestätigt werden.

Tabelle C-4: t-Test für gepaarte Stichproben (E2, fw21deb62 2.sta)

	Mittelw.	Stdabw.	N	Diff.	Stdabw. Diff.	t	FG	p
<b>ROP</b>	<b>10,61</b>	<b>11,08</b>	<b>62</b>					
<b>LOP</b>	<b>5,74</b>	<b>5,80</b>	<b>62</b>	<b>-4,8709</b>	<b>14,539</b>	<b>-2,637</b>	<b>61</b>	<b>0,010569</b>

Tabelle C-5: Wilcoxon-Test gepaarte Stichpr. (E2, fw21deb62 2.sta)

Variablen	Gültige N	T	Z	p-Niveau
<b>ROP &amp; LOP</b>	<b>62</b>	<b>546,5000</b>	<b>2,392386</b>	<b>0,016740</b>

**Erhebung 3** (N=28, 14 weiblich, 14 männlich): Obwohl auch hier ausschließlich Psychologiestudenten untersucht worden waren näherten sich die Ergebnisse wieder denen aus der Erhebung 1 an. Ein parametrischer t-Test und der parameterfreie Wilcoxon-Test für gepaarte Stichproben, zeigten signifikante Mittelwertsunterschiede zugunsten der ROP an ( $\alpha=0.05$ ).

Tabelle C-6 FW21a, Rechtshändige Kontrollgruppe, Erhebung 3, N=28, 14m, 14w

Variable	Gült. N	Mittelw.	Stdabw.	Std.Fehler
LAMBC	28	1,45	1,29	0,244970
ROP	28	13,35	5,23	
LOP	28	4,25	4,63	

Tabelle C-6: Mittelwerte und Streuungen des Lateralitätsindex Lambda und der Ohr-Dominanzpunkte ROP und LOP. Darbietung vom Tonband über Kopfhörer. Der Standardfehler des Lambdawertes (Std.Fehler des Mittelwertes, Stichprobenfehler) ist der Quotient, durch den die individuellen Lambdawerte dividiert werden, um den z-Wert von Lambda zu erhalten ( $z\lambda$ ).

Tabelle C-7 t-Test für gepaarte Stichproben (E3, fw21frie28ehi)

	Mittelw.	Stdabw.	N	Diff.	Stdabw. Diff.	t	FG	p
ROP	13,357	5,236						
LOP	4,250	4,639	28	9,107	8,933	5,394	27	0,000011

Tabelle C-8 Wilcoxon-Test gepaarte Stichpr. (E3, fw21frie28ehi)

Variablen	Gültige N	T	Z	p-Niveau
ROP & LOP	28	37,50000	3,768671	0,000164

Die H1 der Hypothese C.2-1 konnte auch in der Erhebung 3 bestätigt werden.

### C.2.5 Ergebnisse 2: Itemanalyse in homogenen und heterogenen Gruppen

Auch die 21 selektierten Items wiesen in ihrem Anteil an Stimulusdominanz eine große Variabilität auf. Mit Ausnahme der Wörter aus der Paarung Bank-Dank waren alle monaural sicher richtig zu erkennen. Ein Item (Po / Klo) erzeugte ausschließlich Stimulusdominanz und ist in den weiteren Abbildungen zu den Itemanalysen nicht enthalten. In der Abbildung C-4 S. 22 sind die Anteile der Ohr-Dominanz und Stimulus-Dominanz für jedes Item aus der Erhebung 2 dargestellt. Bemerkenswert ist die Beobachtung der Stichprobenabhängigkeit des Tests. Obwohl in den beiden Erhebungen E1 und E2 der Test in identischer Form dargeboten wurde, hatte er in der

Gruppe der Erhebung E1, eine größere lateralisierende Kraft (vergleiche den weißen Flächenanteil aus Abbildung C-3 S. 21 und in Abbildung C-4 S. 22).

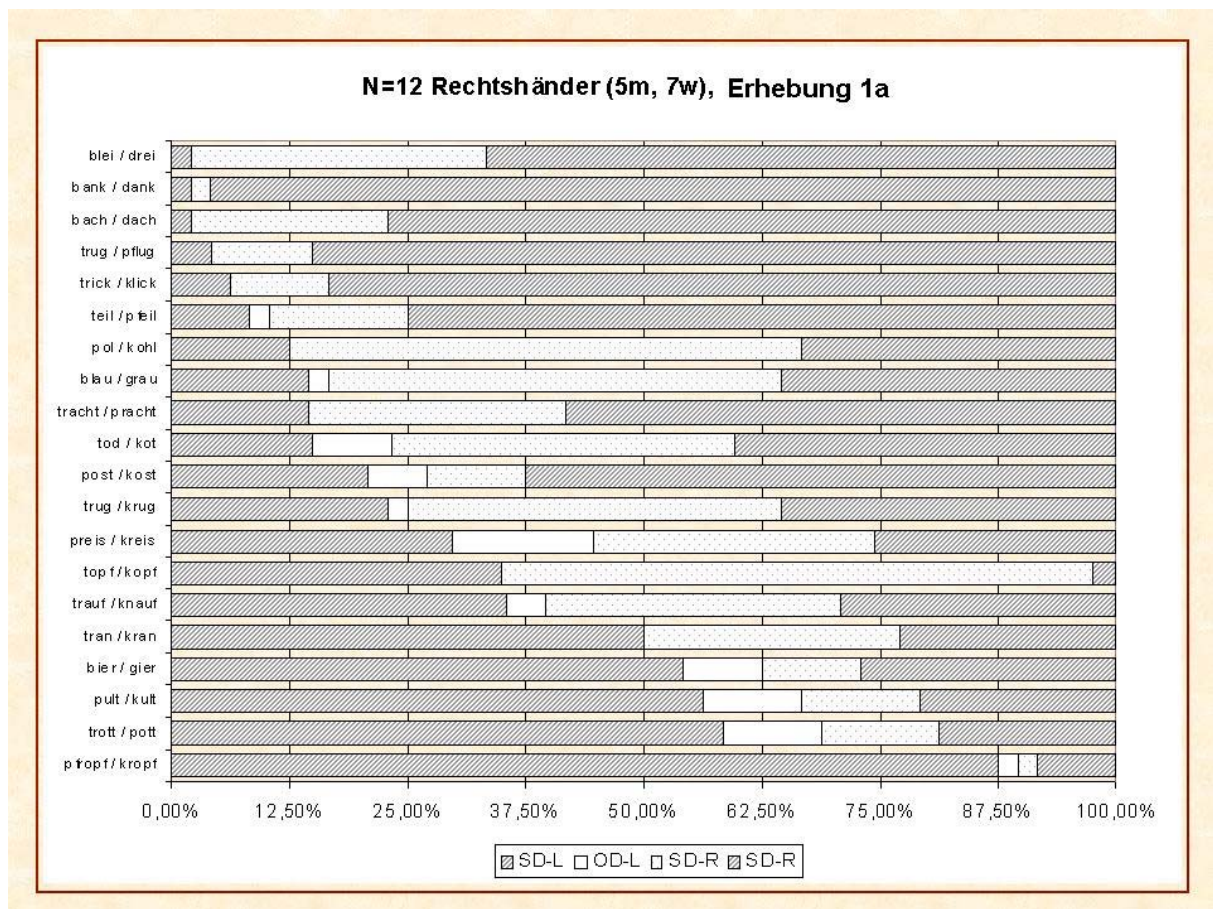


Abbildung C-2 Itemanalyse, rechtshändige Kontrollgruppe, Erhebung 1a, N=12, 5m, 7w

Abbildung C-2: Die Abbildung stellt die Anteile der Stimulusdominanz (SD grau) und Ohrdominanz (OD weiß) aus der rechtshändigen Gruppe einander gegenüber. Links vom weißen Bereich sind die Anteile für Stimulusdominanz des linksseitig aufgelisteten Wortes (SD-L) dargestellt, rechts vom weißen Bereich der Anteil für das rechtsseitig aufgelistete Wort (SD-R). Je breiter der weiße Bereich (OD) eines Items ist, desto größer ist seine lateralisierende Kraft bzw. desto mehr Ohrdominanz (linke OD-L oder rechte OD-R) kann mit ihm erzeugt werden. Die Balkengröße entspricht den Mittelwerten aus 4 Durchgängen der N=12 rechtshändigen Probanden. Eine Balkenlänge von 25% entspricht einem Mittelwert von 1,0 d.h. das Ereignis (SD-L, OD-L, OD-R oder SD-R) ist dann im Mittel 1 mal in 4 Durchgängen aufgetreten. Die Fehlerrate lag unter 1% und ist in der Abbildung nicht enthalten.

Der Eindruck, dass in der Summe die rechtsstehenden Wörter (graue Bereiche rechts vom weißen Bereich) evtl. mehr Stimulusdominanz erzeugt haben könnten, wäre ein zufälliger Befund, der nur davon abhinge, welche Anordnung des Wortpaares ursprünglich als "original" und welche als "ungekehrt" festgelegt worden war.



### C.2.6 Ergebnisse 3: 2. Reduktion von 21 auf 10 Items, von FW21a zu FW10b.

In einer weiteren analogen 4. Erhebung, zur funktionellen Hemisphärenasymmetrie im Verlauf des Menstruationszyklus, wurde die Itemserie FW21a auf die 10 besten Items aus der 1. Erhebung halbiert (Serie FW10a) und die Anzahl der Durchgänge von 4 auf 8 verdoppelt.

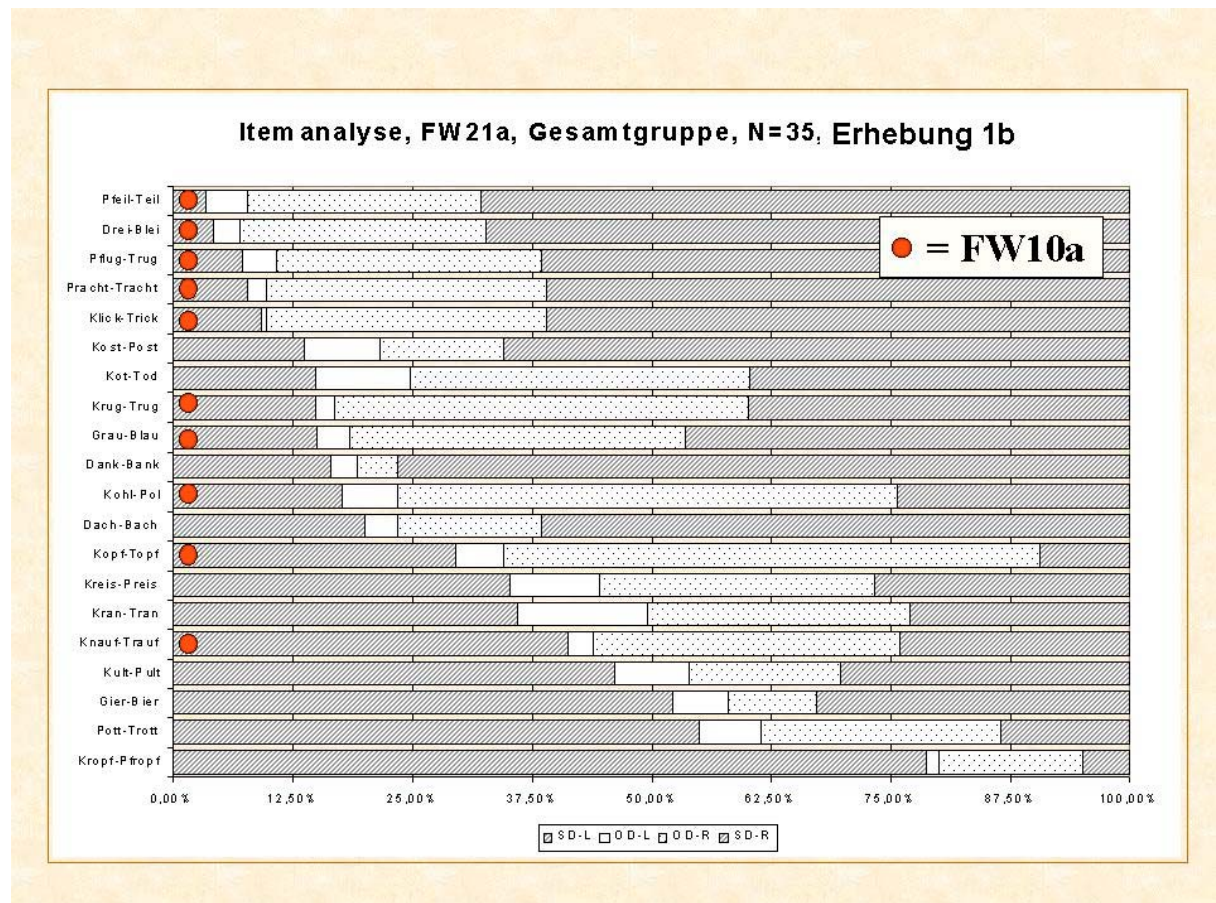


Abbildung C-3 Itemanalyse FW21a, Gesamtgruppe 12 Kontrollen, 23 Patienten, Erhebung 1b

Abbildung C-3 Die Abbildung stellt die Anteile der Stimulusdominanz (SD grau) und Ohrdominanz (OD weiß) aus der klinischen Studie einander gegenüber. Links vom weißen Bereich sind die Anteile für Stimulusdominanz des linksseitig aufgelisteten Wortes (SD-L) dargestellt, rechts vom weißen Bereich der Anteil für das rechtsseitig aufgelistete Wort (SD-R). Je breiter der weiße Bereich (OD) eines Items ist, desto größer ist seine lateralisierende Kraft bzw. desto mehr Ohrdominanz (linke OD-L oder rechte OD-R) kann mit ihm erzeugt werden. Die Balkengröße entspricht den Mittelwerten aller 35 Vpn aus 4 Durchgängen (23 Patienten mit Temporal-Lappen-Epilepsie und 12 Kontrollen). Eine Balkenlänge von 25% entspricht einem Mittelwert von 1,0 d.h. das Ereignis (SD-L, OD-L, OD-R oder SD-R) ist dann im Mittel 1 mal in 4 Durchgängen aufgetreten. Die Fehlerrate lag unter 1% und ist in der Abbildung nicht enthalten. Die Itemselektion FW10a ist mit einem roten Punkt markiert.

Die Items waren anhand der Ergebnissen der Gesamtgruppe ausgewählt worden (Kontrollen und Patienten). Dieses Vorgehen stützte sich auf die Überlegung, dass anhand der Gesamtgruppe, die hinsichtlich der Sprach-Lateralisierung heterogen war, auch solche Items zum Zuge kommen konnten, die überwiegend Links-Ohr-Punkte erzeugen. Die Gesamtgruppe in Erhebung 1 hatte gegenüber der studentischen Gruppe aus Erhebung 2 deutlich mehr Gesamt-Ohrpunkte. Trotzdem war die Auswahl anhand dieser Gruppe zum FW10a nicht zufriedenstellend.

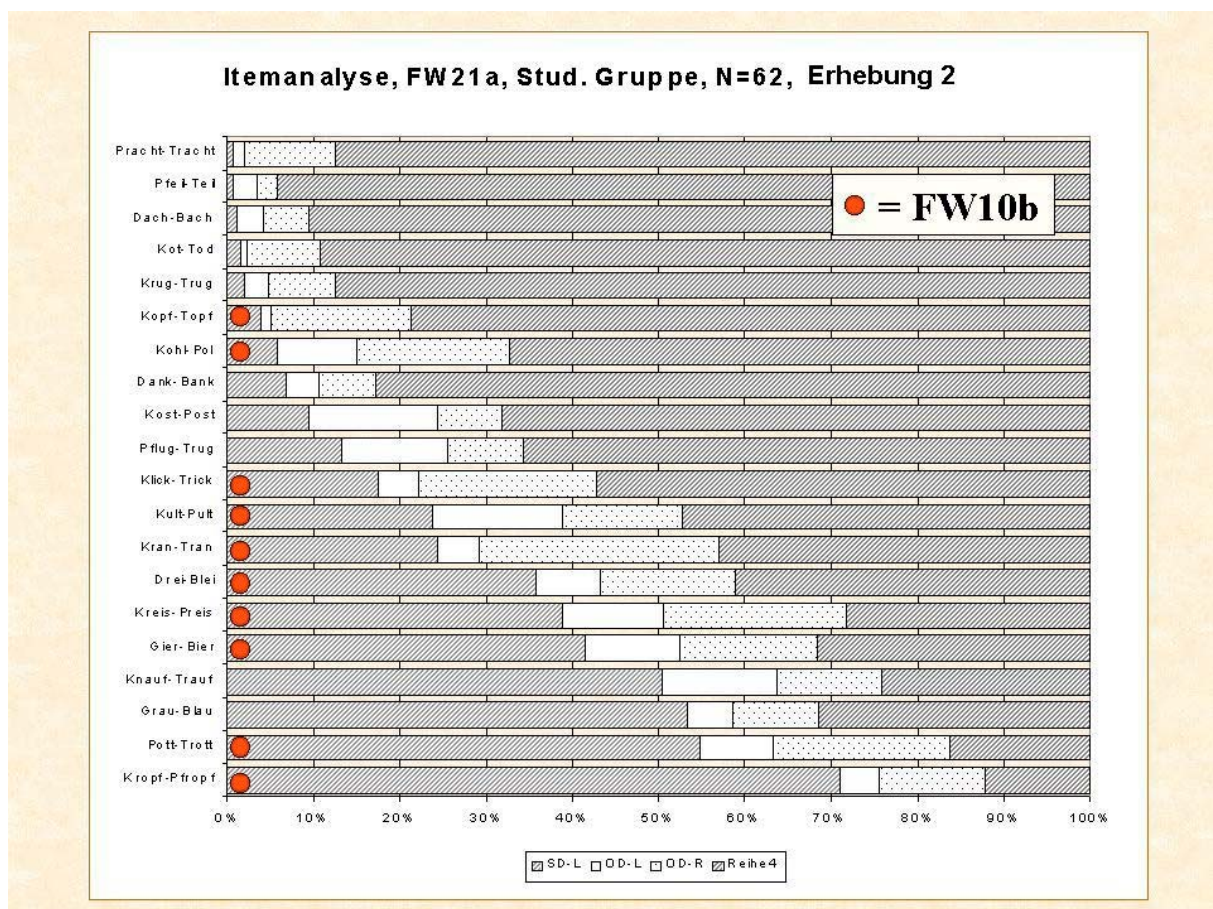


Abbildung C-4 Itemanalyse FW21a, stud. Gruppe, Erhebung 2

Abbildung C-4 Die Abbildung stellt die Anteile der Stimulusdominanz (SD grau) und Ohrdominanz (OD weiß) aus der studentischen Studie gegenüber. Links vom weißen Bereich sind die Anteile für Stimulusdominanz des linksseitig aufgelisteten Wortes (SD-L) dargestellt, rechts vom weißen Bereich der Anteil für das rechtsseitig aufgelistete Wort (SD-R). Je breiter der weiße Bereich (OD) eines Items ist, desto größer ist seine lateralisierende Kraft bzw. desto mehr Ohrdominanz (linke OD-L oder rechte OD-R) kann mit ihm erzeugt werden. Die Balkengröße entspricht den Mittelwerten aller 62 Vpn (gesunde Rechtshänder und Rechtshänderinnen) aus 4 Durchgängen. Eine Balkenlänge von 25% entspricht einem Mittelwert von 1,0 d.h. das Ereignis (SD-L, OD-L, OD-R oder SD-R) ist dann im Mittel 1 mal in 4 Durchgängen aufgetreten. Die Fehlerrate lag unter 1% und ist in der Abbildung nicht enthalten. Die Itemselektion FW10b ist mit einem roten Punkt markiert.

Im Rahmen der Erhebung 2 waren 62 Datensätze des FW21a an gesunden rechts-händigen Probanden erzeugt worden. Sie bildeten die Datenbasis, um noch einmal eine abschließende Itemselektion ausschließlich an Gesunden durchzuführen. Ausgewählt wurden die 10 Items mit den besten Lateralisierungswerten (Serie FW10b). Verglichen mit der Selektion FW10a, die auch auf der Basis von Patientendaten ermittelt worden war, ergab sich in 5 von 10 Items eine Veränderung. D. h. die Serien FW10a und FW10b beinhalten jeweils 10 Items aus der Serie FW21a und haben 5 Items gemeinsam. Dabei zeigte sich jedoch, daß die neue Zusammenstellung FW10b eine 1,47 fache Lateralisierungskraft hat wie die Serie FW10b, bezogen auf den Datensatz FW21a aus Erhebung 2 (Abbildung C-4, S. 22).

### **C.2.7 Diskussion: Rechts-Ohr-Vorteile**

Unter den neu erstellten 56 dichotischen Items ließen sich 21 Items finden, die in 3 unabhängigen Erhebungen signifikante Rechts-Ohr-Vorteile bei Rechtshändern erzeugten. Die Händigkeitskriterien waren in den 3 Erhebungen nicht einheitlich, so dass die Fragen der Assoziation zur Händigkeit im Abschnitt D S. 60 eingehend analysiert wird. Die 21 Wortpaare enthalten an den Schnittstellen keine technischen Mängel wie Klicken oder Knacken mehr, die häufig durch die Edierarbeiten auftraten. Lediglich bei einem der 21 Items war die Verständlichkeit bei der monauralen Präsentation der einzelnen Wörter eingeschränkt (Bank-Dank). Ein weiteres Item erzeugte nur Stimulusdominanz (Po / Klo). Diese Items wurde in den nachfolgenden Zusammenstellungen nicht mehr berücksichtigt. Anhand der Anzahl der Rechtsohrpunkte (ROP) und der Gesamtohrpunkte (ROP+LOP) wurde die Serie FW21a auf 10 Wortpaare reduziert (FW10b).

Um aus den Rechts-Ohr-Vorteilen einer Gruppe ein individualdiagnostisches Instrument zu entwickeln, müssen für das individuelle Lateralisierungsergebnis Grenzwerte ermittelt werden, ab denen eine signifikante Wahrnehmungsasymmetrie vorliegt. Die individuellen Lateralisierungsergebnisse können hierzu zu einer theoretischen Verteilung und zu den Populationswerten in eine Beziehung gesetzt werden.



**C.2.7.1 Individuelle Asymmetrie: Vergleich mit der Binominalverteilung**

Mit der Bestätigung der Hypothese C.2-1 wurden lediglich signifikante Mittelwertsunterschiede in verschiedenen Gruppen nachgewiesen. Für die Sprach-Lateralitätsdiagnostik ist jedoch wesentlich, ob das individuelle Antwortverhalten einer Versuchsperson signifikant asymmetrisch gegenüber zufälligen bzw. symmetrischen Verhältnissen ist. Aus dem Vergleich mit der Binomialverteilung kann das individuelle Ergebnis hinsichtlich der Signifikanz seiner Asymmetrie beurteilt werden. Hierzu werden nun nicht die Ohr-Dominanz-Punkte ROP und LOP betrachtet, die sich immer aus 2 Darbietungen (O und U) ergeben, sondern die einfachen Ohrpunkte (eLOP und eROP). Jede Antwort auf eine dichotische Darbietung wird dabei als ein unabhängiges Ereignis angesehen.

Aus jeder Darbietung eines dichotischen Wortpaares ergeben sich - wie bei einem Münzwurf - zwei gültige Antwortmöglichkeiten. 1. das Wort vom linken Ohr und 2. das Wort vom rechten Ohr. Bestünde eine Symmetrie der Wahrnehmung, so kämen Antworten vom linken Ohr und Antworten vom rechten Ohr annähernd mit gleicher Häufigkeit vor. Ob eine beobachtete Asymmetrie noch als zufällig zu betrachten ist oder nicht, darüber gibt ein Vergleich mit der Binominalverteilung Auskunft. Mit zunehmender Darbietungszahl (Itemanzahl bzw. Münzwürfen) geht die Binominalverteilung in eine Normalverteilung über. Bei symmetrischen theoretischen Wahrscheinlichkeiten für die beiden Seiten ( $p=q=0.5$ ) kann das Ergebnis schon ab  $n=36$  Darbietungen mit einer Normalverteilung verglichen werden (Pfanzagl 1962, [25]). Sowohl für die Serie FW21a als auch für die Serie FW10b wurden wesentlich mehr als  $N=36$  Darbietungen realisiert (168 bzw. 160), wodurch die Angleichung an die Normalverteilung entsprechend besser wird. Die Normalverteilung, die bei häufigen Ereignissen aus einer Binominalverteilung hervorgeht, hat folgende Kennwerte:

**Mittelwert:  $\mu = n p$ , Standardabweichung:  $\sigma = \sqrt{n p q}$**

Der FW21a hat mit 4 Durchgängen 168 Darbietungen. Der Mittelwert ist entsprechend  $\mu = n \times p = (2 \times 21 \times 4) \times 0.5 = 84$  und die Standardabw.  $\sigma = \sqrt{(168 \times 0.5 \times 0.5)} = 6,48$

Eine gegenüber dem Zufall signifikante Seitigkeit der Antworten läge also vor, sobald die Werte um  $2\sigma$  von  $\mu$  abweichen, also um 13 von 168 Antworten differieren. D. h., dass bei einem individuellen Ergebnis ab einem Abstand von 13 oder mehr einfachen Ohr -Punkten vom Mittelwert eine signifikante Abweichung gegenüber dem Zufall bzw. den symmetrischen Verhältnissen vorliegt. Ein Abstand von 13 eOP vom Mittelwert entspricht einer Differenz von 26 eOP zwischen den beiden Ohren oder einer Differenz von 13 Ohr-Dominanz-Punkten zwischen LOP und ROP. Unter C.2.7.2 wird dieses Kriterium am Test FW10b erläutert. Diese Werte beziehen sich auch auf die Serie FW21a mit 4 Durchgängen, also auf Tabelle C-16 S. 43 (Spalten Lpx1, Rpx1, Lpx2, Rpx2).

Nach einer Empfehlung von Zatorre (1989, [13]), die von ihm nicht weiter begründet wird, sollte der Gesamtanteil der Ohrdominanz (LOP + ROP) bei ca. 25% liegen. Wird dieser Anteil wesentlich unterschritten, so würde die Aussage über die perzeptuelle Asymmetrie eingeschränkt, da zu wenige Beobachtungsdaten vorlägen. Aus den Überlegungen zum Vergleich mit der Binomialverteilung wird jedoch deutlich, dass bei 168 Darbietungen bereits eine Asymmetrie von 13 Ohr-Dominanz-Punkten ausreichen kann ( $LOP+ROP=0+13=13$ ) um eine Asymmetrie statistisch nachzuweisen, also bereits mit einem Gesamtanteil der Ohr-Dominanz von 13/80 oder von 16,25 %.

#### **C.2.7.2 Signifikanz der individuellen Asymmetrie: Rechenbeispiel für FW10b**

Beim FW10b gibt es 160 Darbietungen in 8 Durchgängen ( $2 \times 10 \times 8$ ),  $\mu = 80$ ,  $\sigma = 6,3$ . Auch hier ist eine Differenz der Ohr-Dominanz-Punkte von 13 oder größer nicht mehr als zufällig zu betrachten. Das nachfolgende Beispiel zeigt, wie sich aus den Ohr-Dominanz-Punkten (ROP, LOP, SD-L, SD-R) die einfachen Ohr-Punkte berechnen lassen. Die Gesamtzahl der einfachen Ohrpunkte (eROP, eLOP) ergibt sich, wenn alle Stimulus-Dominanz-Punkte (SD-L + SD-R) als gleicher Summand auf beiden Seiten in die eROP und eLOP eingehen. Das ist der "symmetrische" Grundstock der für beide Seiten gleich ist und der nichts zur Lateralität beiträgt. Nun müssen nur noch die Ohr-Dominanz-Punkte mit 2 multipliziert werden und auf der jeweiligen Seite auf diesen Grundstock aufaddiert werden.

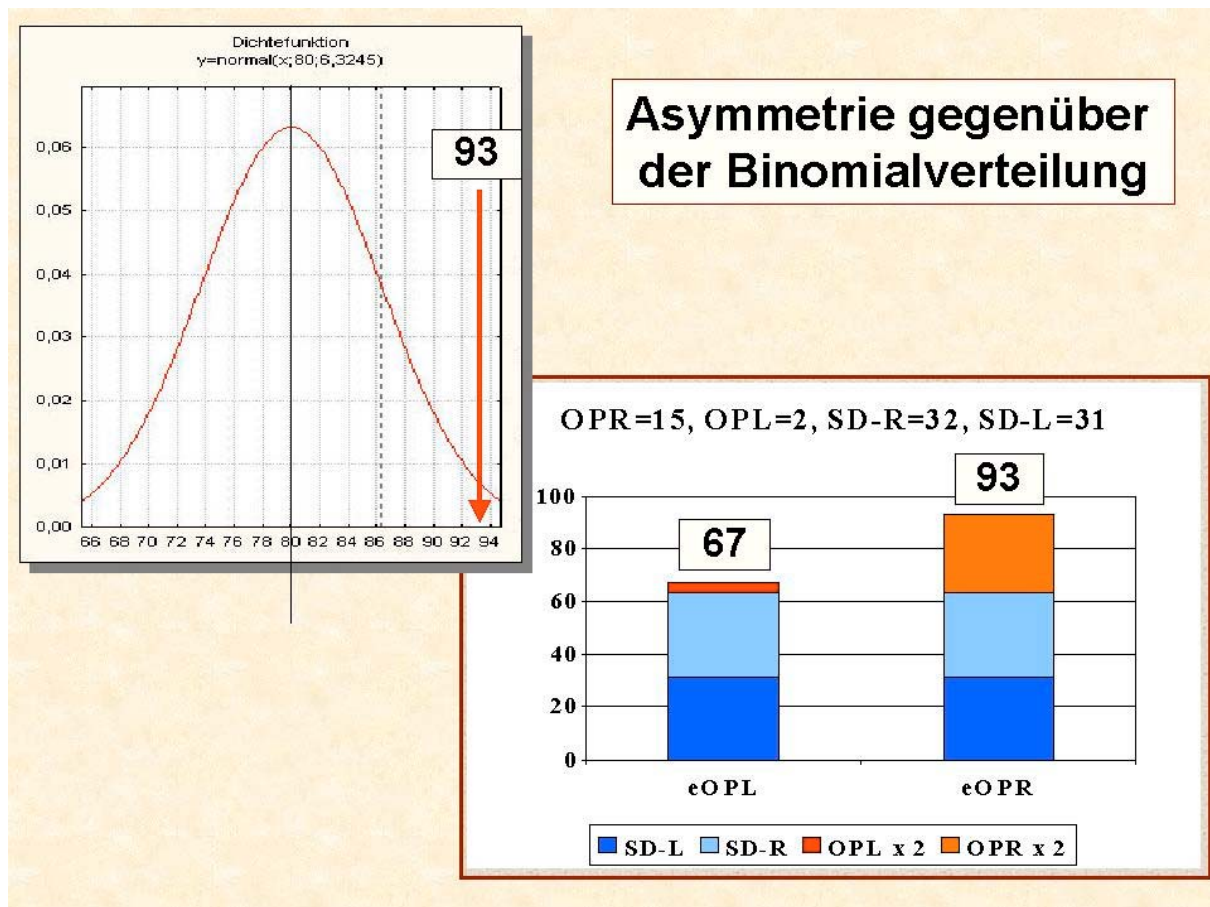


Abbildung C-5 Rechenbeispiel, Asymmetrie gegenüber der Binomialverteilung

Abbildung C-5 Die Abbildung veranschaulicht die erforderliche kritische Differenz von 13 Ohr-Dominanzpunkten, um mit  $p=.05$  eine signifikante (Wahrnehmungs-) Asymmetrie nachzuweisen.

Die Summe aus den Ohr-Dominanz-Punkten SDR+SDL+OPR+OPL+Fehler muss immer 80 ergeben. Die Summe aus den einfachen Ohrpunkten sollte entsprechend 160 sein. Ein Ergebnis von z. B. OPR=15, OPL=2, SDR=32, SDL=31, Fehler=0 ergibt ein Verhältnis von eROP (63+30) : eLOP (63+4) = 93 : 67. In der Normalverteilung ( $\mu = 80$ ,  $\sigma = 6,3$ ) weicht das Ergebnis 93:67 schon um mehr als zwei Standardabweichungen von der Mitte ab ( $\alpha=.05$ , zweiseitig, Abbildung C-5, S. 26).

Um die diagnostische (klinische) Bedeutsamkeit zu erfassen, muß jedoch auch die empirische Verteilung der Ohrpunktdifferenzen in der Referenz-Population berücksichtigt werden.

### C.2.7.3 Bedeutsamkeit der Ohr-Asymmetrie: Vergleich mit Populationswerten

Aus den beobachteten Ohrpunkten der beiden Ohren lassen sich verschiedene Lateralitätsindizes berechnen, die unterschiedliche Eigenschaften haben. Den Argumenten von Bryden & Sprott (1981, [26]) folgend, wurde als Lateralitäts-Index ein Lambda-Wert berechnet. Der Lambda-Wert entspricht dem natürlichen Logarithmus ( $\ln$ ) des Quotienten von ROP/LOP:

$$\lambda = \ln (\text{ROP}/\text{LOP}).$$

Für den Fall, daß  $\text{ROP} = 0$  oder  $\text{LOP} = 0$  ist, wird in die Formel  $\text{ROP} = 1$  bzw.  $\text{LOP} = 1$  eingesetzt. Lambda weist gegenüber anderen Lateralitätsindizes einige Vorteile für die statistische Verarbeitung auf und ermöglicht eine Bewertung der beobachteten Lateralität (Bryden & Sprott 1981, [26], Speaks 1988, [27], Harshman & Lundy 1988, [28]). Wie Bryden & Sprott (1981, [26]) gezeigt haben, ist die Schätzfunktion  $\lambda'$  für ein gegebenes Individuum annähernd normal verteilt, mit einer geschätzten Varianz  $\sigma'^2$ . Dies impliziert, daß  $u(\lambda) = (\lambda' - \lambda) / \sigma' \lambda$  näherungsweise standard-normal verteilt ist.

Aus dem  $\lambda$ -Wert läßt sich ein z-Wert erhalten ( $z\lambda$ ), indem der  $\lambda$ -Wert durch seinen Standardfehler (Stichprobenfehler) geteilt wird (Fernandes & Smith 2000, S. 1221, [29]).

$$z\lambda = \lambda / S_e(\lambda)$$

So kann z. B. ein 95% Konfidenzintervall für den Betrag von  $z\lambda$  mit den Grenzen  $z\lambda > |1.96|$  festgelegt werden. Übersteigt der individuelle  $z\lambda$  diese Grenzen, liegt mit mindestens  $p=0.05$  eine signifikante Lateralisierung vor. Bei einem ROV ergeben sich positive Lambda-Werte, bei einem LOV negative.

Bezogen z. B. auf die Kontrollgruppe von  $N=12$  Rechtshändern (C.2.4) mit einem Lambda-Mittelwert von  $\lambda = 2,02799$  und einem Standardfehler von  $S_e = 0,331937$  ergibt sich daraus ein hochsignifikanter z-Lambda-Wert von  $z\lambda = 6,1095$  ( $= 2,02799 / 0,331937$ ). In dieser Stichprobe sind Lambda-Werte über  $\lambda = |0,6505|$  mit  $p=0.05$  ( $z=1,96$ ), bzw. ab einem Ohrpunkte-Verhältnis von  $R:L = 1,917 : 1 \approx 2:1$  bereits signifikant in Bezug auf die Stichprobe, aus der das Individuum kommt ( $\lambda = \ln (1,917 / 1) = 0,6507$ ).

Auf der Ebene der Individualdiagnostik liegt eine Wahrnehmungsasymmetrie vor, wenn beide Kriterien erfüllt sind: Die Differenz zwischen den rechten und linken Ohr-Punkten sollte mindestens 13 betragen und ihr Verhältnis muß mindestens 2:1 sein. Ein Lateralisierungsergebnis von  $ROP : LOP = 18 : 5$  wäre noch als linksseitige Sprachdominanz zu interpretieren, während eines von  $28 : 15$  bereits als bilateral zu interpretieren ist. Liegen weniger als 13 Gesamt-Ohr-Dominanz-Punkte vor ( $ROP+LOP$ ), sollten die Lateralisierungsverhältnisse nicht beurteilt werden.

## C.3 Reliabilität 1: Innere Konsistenz

### C.3.1 Problemstellung

In einer theoretischen Analyse aufgrund bedingter Wahrscheinlichkeiten formulierte Satz (1977, [30]) das "inferentielle Problem" der Lateralitätsforschung. Es resultiert einerseits aus den sehr asymmetrischen Grundraten der Sprachlateralisierung und den begrenzten Reliabilitäten der lateralisierenden Tests andererseits. Wenn die tatsächliche Prävalenz von linksseitigen Sprachrepräsentationen unter Rechtshändern bei 95% oder höher liegt, dann muß ein lateralisierender Test bereits äußerst genau sein, um seine Anwendung vernünftig begründen zu können. Ist eine hohe Reliabilität nicht gegeben, so ist die Annahme einer linksseitigen Sprachrepräsentation für alle Fälle - ohne überhaupt zu testen - besser (Hiscock et al. 2000). Falls ein dichotischer Test bei Rechtshändern nur in 70% der Fälle einen ROV zeigt, läßt sich daraus keine sinnvolle Schlußfolgerung mehr ziehen. Ein Individuum mit einem LOV hätte dann immer noch eine 90% Wahrscheinlichkeit für eine Linkslateralisierung der Sprache. D. h., dass ein Untersucher, der aus einem Links-Ohr-Vorteil eine unilaterale rechtshemisphärische Sprachlateralisierung annähme, in 90% der Fälle falsch läge. Da auch im amerikanischen FRWT ca. 20% der Rechtshänder keinen Rechts-Ohr-Vorteil zeigen, bleibt es problematisch aus einem LOV eines Rechtshänders auf eine Rechtslateralisierung der Sprache zu schließen; hier wäre zunächst eine bilaterale Organisationsform anzunehmen.

Dichotische Hörtests sollten daher möglichst reliabel sein. Ein Test, der nicht eine ausreichende Reliabilität aufweist, kann nicht valide sein bzw. seine Validität kann nicht nachgewiesen werden. Dies bedeutet, dass ein dichotischer Hörtest bei ungenügender Reliabilität keine Chancen hat, die Sprachlateralisation valide zu bestimmen. Bei der Entwicklung eines dichotischen Tests sind die Kriterien für die Itemkennwerte Schwierigkeit und Trennschärfe nicht völlig klar. Die Entwicklung eines dichotischen Hörtests ist aus mehreren Gründen nicht ohne weiteres mit der Entwicklung von anderen psychologischen Tests zu vergleichen. Trotzdem kann eine geeignete Itemselektion auch hier die Reliabilität des dichotischen Tests erhöhen.

Lienert & Raatz (1998) geben für die Reliabilitätskoeffizienten allgemeine Orientierungswerte vor, denen Tests entsprechen sollten. Die Höhe der Koeffizienten hängt dabei wesentlich davon ab, ob der Test als Individualtest oder lediglich zum Nachweis von Gruppendifferenzen eingesetzt werden soll. Für die Beurteilung von individuellen Differenzen legen sie einen Mindestwert von  $r_{tt}=0,7$  als gerade noch ausreichend fest. Standardisierte Test sollten eine innere Konsistenz von  $r_{tt}>0,9$  und eine Re- oder Paralleltestreliabilität von  $r_{tt}>0,8$  aufweisen. Für die Beurteilung von Gruppendifferenzen sind bereits Tests mit einer Reliabilität von  $r_{tt}>0,5$  verwendbar (Lienert & Raatz 1998, S.269, [31]) .

Durch eine Itemanalyse können homogene Items herausgefunden werden, die einerseits besonders viele Ohr-Dominanz-Punkte erzeugen und die sowohl untereinander, als auch mit dem Gesamtergebnis hoch korrelieren. Aus der Ermittlung der inneren Konsistenz der Itemserie erhält man eine Schätzung der Reliabilität der Serie aus einer einmaligen Darbietung. Bereits die Berechnung einer Split-Half-Reliabilität stellt eine Schätzung der inneren Konsistenz eines Tests dar. Eine Weiterentwicklung der Kennwerte für die innere Konsistenz ist Cronbachs-Alpha, das eine Verallgemeinerung der Split-Half-Reliabilität darstellt. Während bei der Split-Half-Reliabilität ein Test einmal in zwei Hälften aufgeteilt wird und nur diese eine Korrelation zwischen den beiden Testhälften berechnet wird, stellt Cronbachs-Alpha gewissermaßen eine Mittelwert aus allen Split-Half-Reliabilitäten dar, der sich aus der sehr großen Zahl aller möglichen Testhalbierungen (bzw. Item-Aufteilungen) des gleichen Tests ergibt.

### C.3.2 Hypothesen

Hypothese C.3-1: Innere Konsistenz, FW21a

**H0:** Die innere Konsistenz der selektierte Itemserie FW21a, liegt signifikant unter  $\alpha=r_{tt} < 0,90$ .

**H1:** Die selektierte Itemserie FW21a, weist eine innere Konsistenz von mindestens  $\alpha=r_{tt} \geq 0,90$  auf.

### C.3.3 Methoden

Aus den Daten der gemischten klinischen Gruppe N=35 der Erhebung 1 soll durch die Berechnung der inneren Konsistenz eine Schätzung der Reliabilität der Itemserie FW21a vorgenommen werden. In die Berechnung gingen die maximal 84 Ohr-Dominanz-Punkte ein. D. h., dass die Wiederholungen eines Items in den Durchgängen statistisch wie ein unabhängiges Item behandelt wurden. Bei einem üblichen psychologischen Test wäre die wiederholte Darbietung einer Frage oder einer Aufgabe kein unabhängiges Ereignis. Die frühere Bearbeitung der Aufgabe würde selbstverständlich die wiederholte Bearbeitung der Aufgabe beeinflussen. Bei einem Wahrnehmungsexperiment sind die Effekte durch die Wiederholung jedoch kaum nachweisbar. Denkbar sind evtl. Effekte des Wahrnehmungslernens (Priming), die in der durchgesehenen Literatur jedoch an keiner Stelle für den FRWT diskutiert wurden. Für LOP und ROP gab es je eine getrennte Berechnung in der jeder ipsilaterale Ohr-Dominanz-Punkt als 1 kodiert wurde und Stimulus-Dominanz-Punkte und kontralaterale Ohr-Dominanz-Punkte mit 0. Für jede Versuchsperson entstanden so jeweils zwei Folgen (Antwortvektoren für LOP und ROP) aus 0 und 1, die jede 84 Positionen lang waren. Die Berechnungen wurden in Statistika 6.0 ® mit der Prozedur "Multivariate explorative Techniken, Reliabilitäts- Item-Analyse" durchgeführt.

### C.3.4 Ergebnisse

Die innere Konsistenz erreichte numerisch nur knapp das gesetzte Niveau von  $\alpha=r_{tt}>0,90$ . Im Anhang H-02 S. 128 und H-03 S. 129 sind die Details der Itemanalyse aufgelistet.

Tabelle C-9 Innere Konsistenz FW21a

Klin Grp N=35 FW21a	Mittelwert	Stdabw.	Cronbach Alpha:	Standard. Alpha:	Mittl. Inter-Item-Korr.:
LOP	4,05	7,25	,89	,90	,39
ROP	21,71	15,28	,89	,87	,27

Die Unterschiedlichkeit zwischen der intendierten und der empirischen Reliabilität kann durch einen statistischen Test für Unterschiede zwischen Korrelationskoeffizienten geprüft werden. Lienert & Raatz (1998, S. 300) empfehlen, die Re-Test-reliabilität der beiden Koeffizienten durch einen t-Test zu vergleichen. Clauss & Eb



ner (1972, S. 246) geben alternativ eine Prüfmöglichkeit über die Prüfgröße  $z$  an, die nach einer  $z$ -Transformation (nach Fisher) möglich ist.

Eine Überprüfung der Unterschiedlichkeit der vorgegebenen intendierten Reliabilität von mindestens  $\alpha=r_{tt}=0,90$  und der beobachteten Reliabilitäten für  $ROP=0.89$  und  $LOP=0.89$  ergab keine signifikanten Unterschiede. Die Hypothese C.3-1, dass eine intendierte Reliabilität in der Höhe von  $\alpha=r_{tt}=0,90$  erreicht wurde, konnte somit angenommen werden.

### **C.3.5 Diskussion: Innere Konsistenz**

Insgesamt zeigten sich die Kennwerte der inneren Konsistenz in einer zufriedenstellenden Höhe. In der vergleichsweise niedrigen mittleren Inter-Item-Korrelation kommt der Sachverhalt zum Ausdruck, dass längst nicht bei jedem Item, bzw. jeder Darbietung, eine Rechts-Ohr-Dominanz auftritt. Die Itemserie FW21a stellt mit den 4 Wiederholungen ein homogenes Stimulationsmaterial dar. Die guten Werte für die innere Konsistenz werden auch durch die relativ große gesamte Testlänge und durch die wiederholten Durchgänge erreicht. Dies bedeutet nach der klassischen Testtheorie, dass bei einer Selektion, etwa auf die besten 10 aus 21 Items eine entsprechende Erhöhung der Anzahl der Durchgänge erfolgen sollte, damit die Gesamtlänge des Tests konstant bleibt. Entsprechend wurde für den FW10b mit 10 Items die Anzahl der Durchgänge von 4 auf 8 erhöht.

Andererseits zeigten aber Hiscock et al. (2000, [32]) beim amerikanischen FRWT, dass sich das Ausmaß des Rechts-Ohr-Vorteils in einer Gruppe von Rechtshändern durch eine Testverlängerung im Bereich von 120 bis 480 Präsentationen nicht erhöhen ließ (von 4 auf 16 Durchgänge). Die Retestreliabilität war hoch und betrug zwischen dem 1. und 3. Durchgang  $r=.85$ . Nur bei 85 bis maximal 95% der Rechtshänder lässt sich mit dem amerikanischen FRWT ein Rechts-Ohr-Vorteil erzeugen.

## C.4 Reliabilität 2: Testwiederholung bei männlichen Probanden

### C.4.1 Problemstellung

In die Kennwerte der inneren Konsistenz gehen kaum Merkmalsfluktuationen ein, da alle Messwerte einer Person zu einem Zeitpunkt erhoben werden. Die innere Konsistenz kennzeichnet deshalb eher den Test, in welchem Maße seine unterschiedlichen Teile das gleiche Merkmal erfassen. Um jedoch Hinweise über die zeitliche Stabilität der dichotischen Asymmetrie der Versuchspersonen zu erhalten, muß der Test tatsächlich in einem zeitlichen Abstand wiederholt dargeboten werden. Da es Hinweise gibt, dass sich der Lateralisierungsgrad von Hirnfunktionen bei Frauen im Hormonzyklus verändert, muss die Frage der Re-Test-Reliabilität für die Geschlechter getrennt betrachtet werden. In den nachfolgenden Zyklusstudien 0 steht die Stärke der Lateralisierung zu zwei Zykluszeitpunkten im Vordergrund, also die Frage, ob die absolute Höhe der Lateralitätsindizes im Hormonzyklus schwankt. Da bei männlichen Probanden vergleichbare Einflussfaktoren nicht bekannt sind, ist zu vermuten, dass es sich bei männlichen Probanden bei der Sprachlateralisierung um ein zeitlich stabiles Merkmal handelt. Die Testwiederholung bei männlichen Probanden kann daher Auskunft geben, inwieweit der Test die Sprachlateralisierung verlässlich erfassen kann. Bei den männlichen Probanden steht somit die Ähnlichkeit der Messreihen zwischen den beiden Untersuchungszeitpunkten im Vordergrund.

### C.4.2 Hypothesen

Hypothese C.4-1: Korrelation bei Testwiederholung

**H0:** Die Lateralisierungsergebnisse zwischen den beiden Messzeitpunkte korrelieren nicht in der erforderlichen Höhe miteinander ( $r_{tt} < 0,8$ ).

**H1:** Es besteht bei männlichen Probanden eine hohe und signifikante Korrelation zwischen den Kennwerten bei wiederholter Darbietung der Serie FW21a ( $r_{tt} \geq 0,8$ ).

Abhängige Variablen sind, Lambda, Rechts-Ohr-Punkte (ROP) und Links-Ohr-Punkte (LOP). Die Prüfung der Differenz von zwei Korrelationskoeffizienten erfolgt

über die Verteilung ( $t_{(\alpha, f)}$ ) des Stichprobenfehlers ( $S_d$ ) der z-transformierten Differenz ( $|d| = |z_1 - z_2|$ ) der Korrelationskoeffizienten  $r_1$  und  $r_2$  (vergleiche Clauss & Ebner 1972, S. 249 ff). Ist die Prüfgröße  $|d|$  kleiner als ( $t_{(\alpha, f)} S_d$ ), so ist die Differenz der Korrelationskoeffizienten zufällig ( $H_0$  gilt). Ist  $|d|$  gleich oder größer als ( $t_{(\alpha, f)} S_d$ ), dann gilt  $H_1$ .

### C.4.3 Methoden

Im Abstand von ca. 2 Wochen wurde die Itemserie FW21a in 2 verschiedenen Studien Gruppen von jeweils  $N=14$  männlichen Rechtshändern dargeboten. Die Ergebnisse der Testwiederholung wurden miteinander korreliert. Alle männlichen Gruppen waren Kontrollgruppen in den Studien über den möglichen Einfluss des Hormonzyklus auf das Lateralisierungsergebnis bei Frauen.

### C.4.4 Ergebnisse

Da keine Zyklusabhängigkeit der Ohrpunkte beobachtet wurden (vergl. 0), sind in Tabelle C-10 auch die Korrelationen der Frauen aufgeführt. Die Korrelationen der Lambda-Werte zwischen den beiden Untersuchungszeitpunkten lagen für Männer bei  $r = .65$  und  $r = .67$  (Tabelle C-10).

Tabelle C-10 Korrelationen bei Testwiederholung, FW21a, Erhebung 2 und 3.

Korr. Koeff.		Lam. 1. / Lam. 2.		LOP 1. / LOP 2.		ROP 1. / ROP 2.	
		r	R	r	R	r	R
E2-gesamt	46	.68 / ***	.61 / ***	.80 / ***	.56 / ***	.79 / ***	.55 / ***
E2-weiblich	32	.67 / ***	.62 / ***	.82 / ***	.60 / ***	.75 / ***	.42 / **
E2-männlich	14	.65 / *	.46 / *	.62 / *	.35 / n.s.	.86 / ***	.77 / ***
E3-gesamt	28	.78 / ***	.64 / ***	.81 / ***	.50 / **	.56 / ***	.55 / **
E3-weiblich	14	.87 / ***	.74 / **	.82 / ***	.55 / *	.53 / *	.47 / *
E3-männlich	14	.67 / **	.50 / *	.80 / ***	.39 / n.s.	.62 / *	.60 / *

Tabelle C-10 Korrelationen bei Testwiederholung (Pearson  $r$  und Spearman  $R$ ) aus den Erhebungen 2 (E2) und 3 (E3). Lam 1, Lam 2 = Korrelation der Lambda-Werte der 1. und 2. Untersuchung, LOP=Links-Ohr-Punkte, ROP=Rechts-Ohr-Punkte, einseitiges Signifikanz-Niveau  $p < .001=***$ ,  $p < .01=**$ ,  $p < .05=*$ , n.s. = nicht signifikant.

Die Korrelationen der Ohr-Punkte lagen im Bereich von  $r = .62$  bis  $r = .86$ . Die Rangkorrelationen (Spearman's R) fielen im allgemeinen geringer aus als die Produkt-Moment Korrelationen (Pearson  $r$ ). Orientiert man sich an der Korrelation der Lambda-Werte aus E2 und E3 ( $r=0,65$  und  $0,67$ ) so weichen beide nicht signifikant von der intendierten Korrelation von  $r=0,8$  ab und es gilt  $H_1$  ( $|d|=0,32, (t_{(\alpha, f)})(S_d) = 0,77, |d| < (t_{(\alpha, f)} S_d) \rightarrow H_1$ ).

#### C.4.5 Diskussion: Re-Test-Reliabilität

Bei männlichen Probanden zeigten sich bei Testwiederholungen im Abstand von ca. 2 Wochen durchwegs signifikante mittlere bis hohe Produkt-Moment-Korrelationen. Das empfohlene Mindestniveau einer Re-Testreliabilität für Individualtests von  $r_{tt} > 0,8$  wird in den Stichproben numerisch nicht in allen Parametern erreicht (Lambda, ROP, LOP), jedoch weichen die beobachteten Korrelationen nicht signifikant von der intendierten Korrelation ab.

Die Re-Test-Reliabilität anderer dichotischer Tests wie z. B. im dichotischen Konsonant-Vokal-Silben Test von Hugdahl (ohne Aufmerksamkeitsinstruktion) liegen in der Literatur bei  $r=0.61$  (Hugdahl & Hammar 1997, [08]),  $r=.60$  (Teng 1981, [33]) bis  $r=.82$  (Gadea et al. 2000, [34]). Nur in Ausnahmefällen werden höhere Koeffizienten berichtet (Bryden 1988, [35], S. 25). Die bei der Serie FW21a beobachtete Re-Test-Reliabilität ist mit anderen dichotischen Tests vergleichbar, scheint aber das Niveau des amerikanischen FRWT von  $r = .85$  in den vorliegenden Stichprobe nicht ganz zu erreichen (Wexler & Halwes (1983, [10])). Um zu einem gültigen Vergleich der Reliabilität der verschiedenen Verfahren zu kommen, sollten sich die Sprachlateralisationen in den Stichproben nicht unterscheiden. In Gruppen mit heterogener Sprachlateralisation wären höhere Reliabilitätswerte zu erwarten. Auch die beobachteten Re-Test-Reliabilitäten beim FW21a legten es nahe, die Serie auf die reliablen Items weiter zu reduzieren und diese mehrfach darzubieten.

## C.5 Reliabilität 3: Testwiederholung im Hormonzyklus der Frau

### C.5.1 Problemstellung

Neben einer statischen Konzeption der Lateralisierung werden in jüngster Zeit auch Vorstellungen entwickelt, nach denen Lateralisierung etwas Veränderliches und Dynamisches bedeuten kann. Solche Theorien beziehen sich auf Veränderungen der interhemisphärischen Kooperation, aufgrund natürlicher und pathologischer Variationen in der Aktivierung der Hemisphären. So z. B. die Veränderungen der Lateralisierung im hormonellen Zyklus der Frau oder die Veränderungen der Lateralisation während psychotischer Schübe.

Von verschiedenen Autoren sind Veränderungen der Lateralisierung mit dichotischen Tests im Hormonzyklus bei Frauen untersucht worden (Hampson 1990a, [36], Hampson 1990b, [37], Hampson & Kimura 1992, [38]), u. a. auch mit dem amerikanischen FRWT (Altemus et al. 1989, [39], Alexander et al. 2002, [40]). Um diese Lateralitätsänderungen im Hormonzyklus bei Frauen zu erklären, wurde zunächst eine De-Sensitivierung des D<sub>2</sub> Dopaminrezeptors durch Östradiol angenommen. Durch diese spezifische Interaktion mit dem Rezeptor würde sich die Aktivierung des Kortex beim Abfluten des Östradiols akzentuieren, wodurch bestehende Asymmetrien und die allgemeine Leistungsfähigkeit der Hemisphären verstärkt werden würden.

Hausmann et al. (2002, [41]) lenkten zur Erklärung zyklusabhängiger Lateralitätsveränderungen die Aufmerksamkeit auf das Progesteron. Sie nahmen an, dass Progesteron in hoher Konzentration eine Inhibition von Interneuronen bewirke, wodurch Balkenfunktionen beeinflusst würden. Zusammenfassend folgerten sie, dass Östradiol sich überwiegend auf die Amplitude lateralisierter Hirnfunktionen auswirke - also linkshemisphärische und rechtshemisphärische Funktionen gleichsinnig verstärkt oder abschwächt, während Progesteron hauptsächlich auf die Lateralität der Funktionen einen Einfluß nähme.

Für den Einsatz und die Interpretation der Testergebnisse des dichotischen Tests bei Frauen ist es wichtig zu wissen, ob die Lateralisierungsergebnisse signifikant durch den Hormonzyklus beeinflusst werden oder nicht. Um Aspekte dieser dynamischen Lateralität zu untersuchen wurde in den Erhebungen 2 und 3 neben anderen latera

litätsdiagnostischen Verfahren auch die dichotische Itemserie FW21a eingesetzt. In einer weiteren zyklusabhängigen Untersuchung 4 wurde die Itemselektion FW10a benutzt, deren Ergebnisse getrennt berichtet werden. Der Test wurde im Abstand von ca. 2 Wochen dargeboten. Die Übereinstimmung bei Testwiederholung und die evtl. Änderung der Lateralisierungsstärke sollte daraus ermittelt werden.

### C.5.2 Hypothesen

Hypothese C.5-1 Lateralisierungsstärke und Hormonzyklus

**H0:** Die Lateralisierungsstärke der Itemserie FW21a wird nicht durch den Hormonzyklus der Frau beeinflusst (keine Mittelwertsunterschiede für  $\lambda$  zwischen Luteal- vs. Follikular-Phase).

**H1:** Die Lateralisierungsstärke der Itemserie FW21a wird durch den Hormonzyklus der Frau beeinflusst (Mittelwertsunterschiede für  $\lambda$  zwischen Luteal- vs. Follikular-Phase).

### C.5.3 Methoden

Rechtshändige Frauen mit spontanem Zyklus und mit Antikonzeptiva werden entsprechend ihrer individuellen Zykluslage einmal in der frühen Follikular-Phase (Niedrig-Hormon-Phase) und in der fortgeschrittenen Luteal-Phase (Hoch-Hormon-Phase) untersucht. Zwischen diesen beiden Zeitpunkten sollten sich die Hormonkonzentrationen maximal unterscheiden. In die Studien eingeschlossen wurden Probandinnen mit einer manifesten Zykluslänge von 25-31 Tagen (Kriterium der normalen Zykluslänge nach Rabe 1990, [42]). Nach einer Exploration der individuellen Zykluslänge wurden die Zyklen nach einem Schema auf einen 28 Tage Zyklus standardisiert, woraus die Probandinnen die ihnen entsprechenden individuellen Untersuchungstermine bzw. -abstände zugewiesen bekamen (Rabe 1990). Die Reihenfolge der beiden Untersuchungen (Hoch- vs. Niedrig-Hormon-Phase) wurde innerhalb der Probandinnen variiert. Der Abstand der beiden Untersuchungen betrug ca. 2 Wochen, richtete sich aber nach der individuellen Zyklusdauer der weiblichen Zielperson. Als Kontrollgruppen wurden den Frauengruppen männliche Kontrollgruppen zugeordnet (vergleiche Abschnitt C.4). Diese waren nach Alter und Bildungsgrad parallelisiert und wurden in den gleichen zeitlichen Abständen und unter den gleichen experimentellen Bedingungen untersucht wie die jeweilige weibliche Zielperson (gejochte Kontrollgruppen). Alle Personen waren überwiegend rechtshändig (Edinburgh Handedness Inventory, EHI, Oldfield 1971, [43]), jedoch waren in den Studien die

Kriterien für Rechtshändigkeit nicht gleich streng. Die hier dargestellte Frauengruppe aus der Erhebung 2 setzt sich aus der Gruppe der Frauen mit Antikonzeptiva (Pillen-Gruppe, PG) und der Spontan-Zyklus Gruppe (SG) zusammen. Bei den Untersuchungen 3 und 4 bestanden die Frauengruppen nur aus Probandinnen mit spontanem Zyklus. Tabelle C-11 stellt die Zyklusstudien zusammen.

Tabelle C-11 Übersicht der Zyklusstudien

Studie Gruppe	N	Serie	Niedrig-Horm. Follikular	Hoch-Horm. Luteal	Zyklus-Art	Händigkeits-Kriterium
E2s	16	FW21a	6.-7. Tag	21.-24. Tag	spontan (SG)	$rHP > IHP = BS < 30, EHI_{LQ} > 0$
E2p	16	FW21a	6.-7. Tag	21.-24. Tag	Pille (PG)	$rHP > IHP = BS < 30, EHI_{LQ} > 0$
E3	14	FW21a	6.-7. Tag	21.-24. Tag	spontan (SG)	$EHI_{LQ} \geq 70$
E4	20	FW10a	3.-5. Tag	20.-23. Tag	spontan (SG)	$EHI_{LQ} \geq 80$

Tabelle C-11 Die Zyklusstudien variieren in einigen Merkmalen (Item-Serie, Untersuchungstage, Zyklus-Art und Händigkeitskriterium). SG= Spontan-Gruppe, PG=Pillen-Gruppe, rHP= rechts-Hand-Punkte im EHI, IHP=links-Hand-Punkte im EHI, BS=Bryden-Score.

In allen Erhebungen wurden die Ohr-Punkte durch einen varianzanalytischen Versuchsplan, mit den beiden Faktoren Zyklusphase (follikular vs. luteal) und Ohrseite (links vs. rechts) analysiert, die jeweils als 2-gestufte Messwiederholungsfaktoren behandelt wurden.

#### C.5.4 Ergebnisse

**Erhebung 2s, Spontan-Gruppe:** Bei den beiden selektierten Frauengruppen aus der E2 (Spontan-Gruppe und Pillen-Gruppe) war die Serie FW21a nicht in der Lage, einen signifikanten ROV zu erzeugen, was mit großer Wahrscheinlichkeit durch ein zu schwaches Rechtshändigkeitskriterium verursacht war (Rechts-Hand-Punkte > Links-Hand-Punkte).

Tabelle C-12 E2s, Gruppe mit spontanem Zyklus, FW21a

Deskriptive Statistik			Varianzanalyse		
	MW	SD			
<b>ROP-Folli</b>	<b>11,44</b>	<b>15,30</b>		<b>F (1,15)</b>	<b>p(F)</b>
<b>ROP-Lute</b>	<b>7,56</b>	<b>7,98</b>	<b>Ohrseite</b>	<b>.33</b>	
<b>LOP-Folli</b>	<b>6,25</b>	<b>6,54</b>	<b>Zyklusphase</b>	<b>.71</b>	
<b>LOP-Lute</b>	<b>8,06</b>	<b>9,22</b>	<b>Ohrs. x Zyklus</b>	<b>5.06</b>	<b>.040*</b>

Tabelle C-12 Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (SD) für die Ohr-Dominanzpunkte. Ergebnisse der Zweifaktoriellen Varianzanalyse (Ohrseite x Zyklusphase) mit den jeweils zweifach gestuften Meßwiederholungsfaktoren Ohrseite und Zyklusphase für die Spontangruppe.

Nur in der Spontan-Gruppe zeigten sich nicht-signifikante Tendenzen, die mit der Hypothese von Lateralisierungsänderungen im Hormonzyklus vereinbar waren.

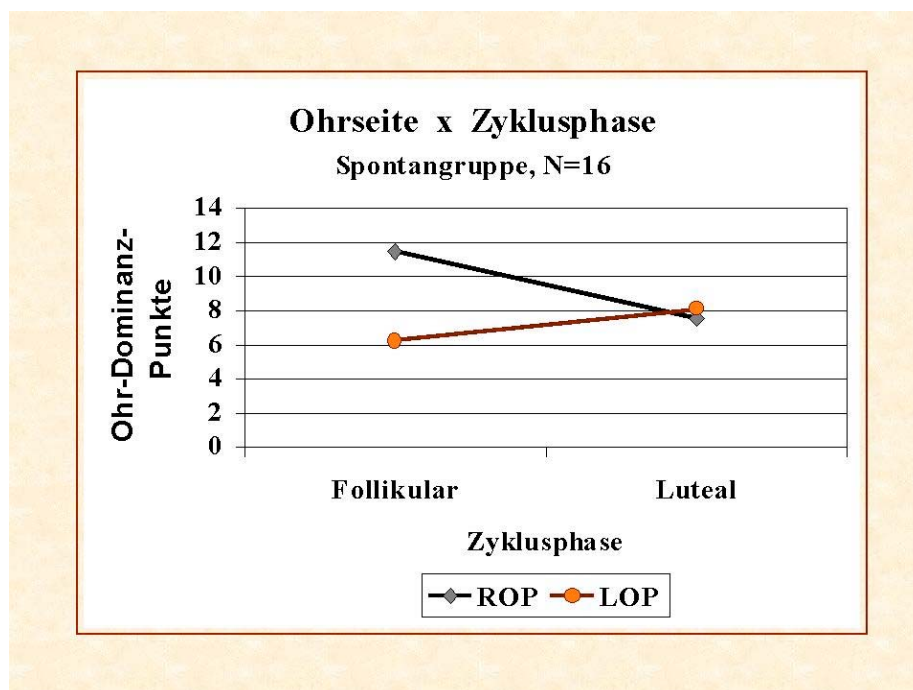


Abbildung C-6 E2s, Spontan-Gruppe, 2-faktorielle Varianzanalyse (Ohrseite x Zyklusphase)

Der Faktor Ohrseite zeigte sich in der Varianzanalyse nicht als statistisch bedeutsam. Zur Follikular-Phase ergaben sich in der SG numerisch mehr ROP als LOP, die aber



zu keinem der beiden Zeitpunkte sich in Einzelvergleichen signifikant voneinander unterscheiden.

**Erhebung 2p, Pillen-Gruppe:** Die Pillen-Gruppe zeigte zur Follikular-Phase numerisch sogar einen leichten Links-Ohr-Vorteil, aber die Lateralisation änderte sich im Hormonzyklus nicht signifikant.

Tabelle C-13 Pillen-Gruppe, FW21a

Deskriptive Statistik			Varianzanalyse		
	MW	SD		F (1,15)	p(F)
ROP-Folli	5,75	4,30	Hemisphäre	.17	
ROP-Lute	5,69	4,35	Zyklusphase	2.78	.116
LOP-Folli	7,38	4,87	Hemis x Zyklus	.70	.417
LOP-Lute	5,56	5,92			

Tabelle C-13 Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (SD) für die Ohr-Dominanzpunkte. Ergebnisse der Zweifaktoriellen Varianzanalyse (Ohrseite x Zyklusphase) mit den jeweils zweifach gestuften Meßwiederholungsfaktoren Ohrseite und Zyklusphase für die Spontangruppe.

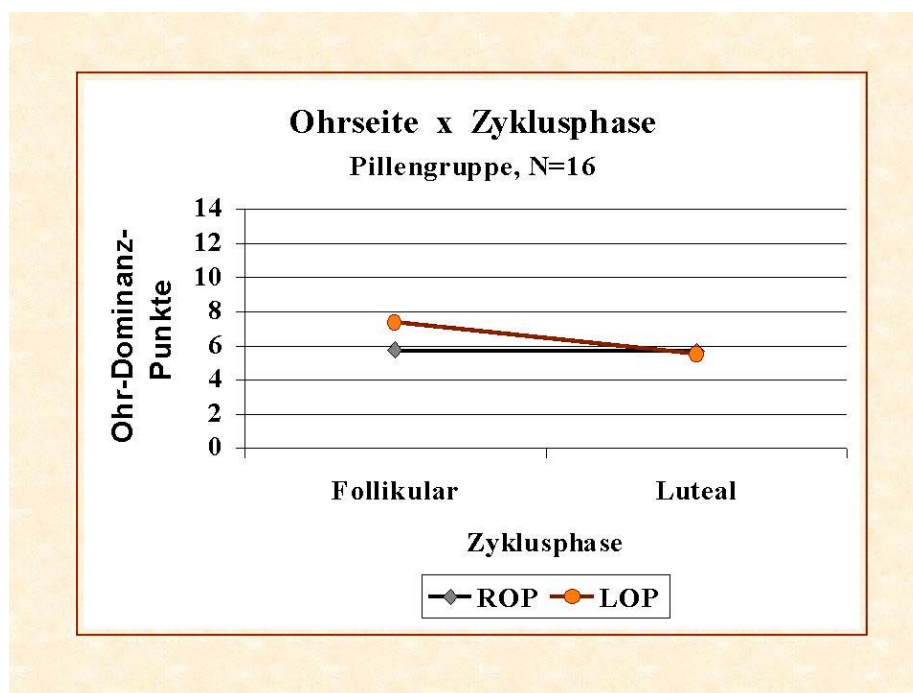


Abbildung C-7 E2p, 2-faktorielle Varianzanalyse (PG, Ohrseite x Zyklusphase)

**Erhebung E3, Spontan-Gruppe, FW21a:** Es wurde ein identisches zeitliches Untersuchungsschema wie bei E2s und E2p eingehalten, jedoch strengere Händigkeitskriterien angelegt. Der Frauengruppe wurde eine parallelisierte männliche Kontrollgruppe zugeordnet und die Zyklusfolge wurde als weiterer Faktor aufgenommen. Die Zyklus-Folge war in allen Studien ausbalanciert. Die beiden Untersuchungen konnten in der Sequenz luteal-follikular oder follikular-luteal erfolgen. Somit wurde eine 4 faktorielle ANOVA durchgeführt (Ohrpunkte, Zyklusphase, Zyklusfolge, Geschlecht), wiederum mit einer 2-stufigen Messwiederholung auf den beiden Faktoren Zyklusphase und Ohr-Seite.

Tabelle C-14 Erhebung 3, spontan-Gruppe, Deskriptive Statistik

<b>Deskriptive Statistik, Erhebung 3</b>				
<b>Frauen Gruppe</b>	<b>ROP</b>		<b>LOP</b>	
<b>N=14</b>	<b>MW</b>	<b>SD</b>	<b>MW</b>	<b>SD</b>
<b>menstruell</b>	14,42	7,58	4,14	4,50
<b>luteal</b>	15,42	8,86	2,78	3,11
<b>1. Untersuchung</b>	13,85	5,74	4,07	4,54
<b>2. Untersuchung</b>	16,00	10,05	2,85	3,08

Tabelle C-14 Mittelwerte (MW) und Streuungen (SD) der Ohr-Dominanz-Punkte ROP und LOP in der Erhebung 3.

Nur der Faktor "Ohrvorteile" (Rechts-Ohr-Vorteil) zeigte einen signifikanten Effekt. Auch hier war das dichotische Ergebnis nicht durch die Zyklusphase oder die Reihenfolge der Untersuchungen beeinflusst. Auch zwischen den Geschlechtern ergaben sich keine signifikanten Unterschiede. Zu allen Messzeitpunkten lagen in den Gruppen hochsignifikante Rechts-Ohr-Vorteile vor.

Tabelle C-15 Erhebung 3, Spontan-Gruppe, Varianzanalyse

Effekt	FG Ef-	MQ Effekt	FG Fehler	MQ Fehler	F	p-Wert
1 Sex	1	26.03	24	22.07	1.17	.288
2 Z-Folge	1	5.14	24	22.07	.23	.633
3 Zyklus	1	.321	24	14.06	.02	.883
4 Ohr-Seite	1	2840.14	24	78.79	36.03	.000
12	1	4.32	24	22.07	.19	.662
13	1	2.2.8	24	14.06	.15	.695
23	1	.89	24	14.06	.06	.806
14	1	54.32	24	78.79	.68	.414
24	1	120.14	24	78.79	1.52	.228
34	1	.03	24	14.20	.79	.960
123	1	11.57	24	14.60	1.79	.382
124	1	141.75	24	78.79	2.90	.192
134	1	41.28	24	14.20	2.90	.101
234	1	26.03	24	14.20	1.83	.188
1234	1	14.28	24	14.20	1.00	.325

Tabelle C-15 Die Varianzanalyse zeigte nur die Effekte des (Rechts-) Ohr-Vorteils (Faktor 4, Ohr-Seite). Die Faktoren Geschlecht und Zyklus-Folge sind zwischen-gruppen Faktoren. Die Faktoren Zyklus-Phase und Ohr-Seite sind als Messwiederholungsfaktoren deklariert.

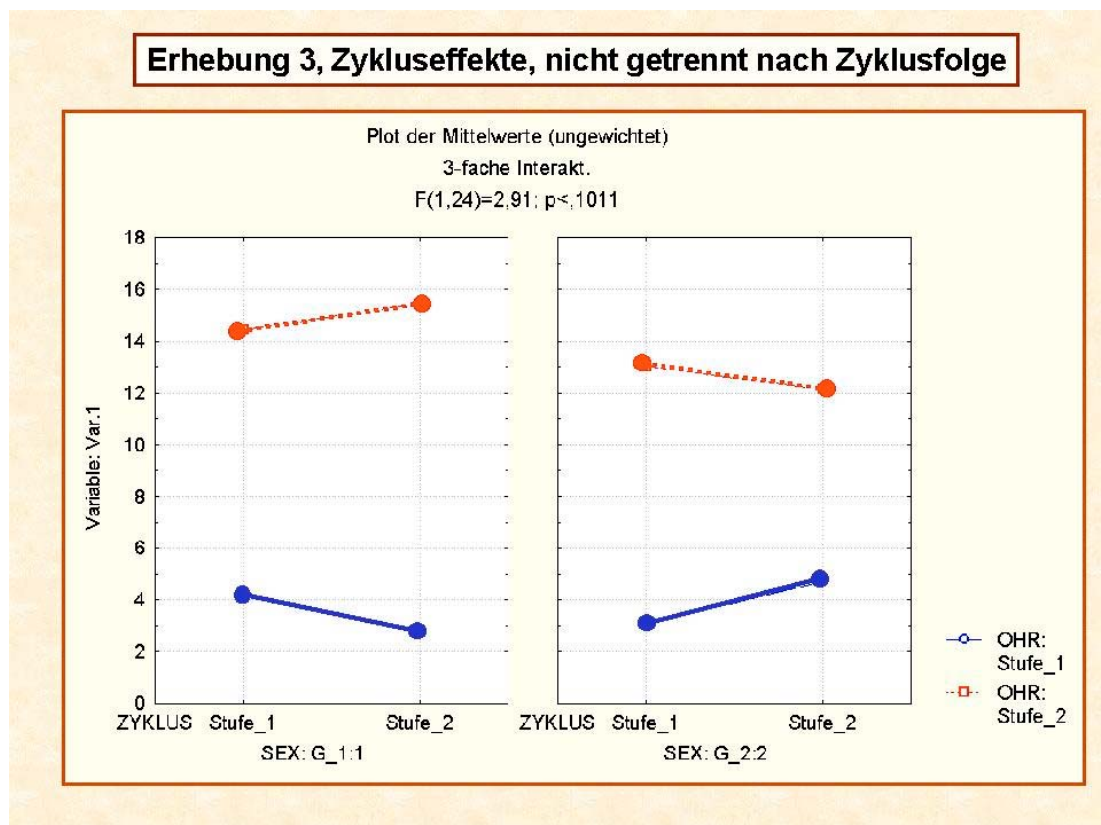


Abbildung C-8 Erhebung 3, Rechts-Ohre-Vorteile nach Geschlecht u. Untersuchungszeitpunkt

Tabelle C-16 Mittelwerte bei Testwiederholung, nach Geschlecht und Studie, FW21a

	N	$\lambda$ -x 1.	$\lambda$ -s 1.	Lpx 1.	Rpx 1.	$\lambda$ -x 2.	$\lambda$ -s 2.	Lpx 2.	Rpx 2.
<b>E2-w</b>	48	+0.39	1.76	6.27	9.14	+0.12	1.67	5.70	6.10
<b>E2-m</b>	14	+1.42	1.87	4.35	15.71	+0.92	1.84	4.00	10.57
<b>E3-w</b>	14	+1.52	1.38	4.14	13.85	+1.65	1.56	3.14	16.07
<b>E3-m</b>	14	+1.38	1.24	4.42	12.85	+1.49	1.40	3.50	12.28

Tabelle C-16 Mittelwerte ( $\lambda$  x) und Streuungen ( $\lambda$  s) der Lambda-Werte zum 1. und 2. Untersuchungszeitpunkt. Lpx= Mittelwert der Links-Ohr-Punkte, Rpx Mittelwert der Rechts-Ohr-Punkte, E2-w/m=Erhebung 2 weiblich/ männlich, E3-w/m = Erhebung 3 weiblich/ männlich.

**E4, Spontan-Gruppe:** In der Erhebung E4 konnten auch mit der Item-Zusammenstellung FW10a zu beiden Messzeitpunkten hochsignifikante Rechts-Ohr-Vorteile in der Frauengruppe nachgewiesen werden, die sich jedoch nicht über den Hormonzyklus veränderten.

Tabelle C-17 E4, Gruppe mit spontanem Zyklus, FW10a

Deskriptive Statistik					Varianzanalyse		
	ROP		LOP		Faktor	F	p(F)
	MW	SD	MW	SD	Zyklusph Zeitpkt	.65	.429
<b>menstruell</b>	16,00	12,93	2,95	2,86	<b>Ohrvorteil</b>	24.15	.000***
<b>luteal</b>	17,65	11,84	2,35	2,54	<b>Ohrvort. x Zyklus</b>	2.10	.164
<b>1. Untersuchung</b>	16,85	12,29	2,80	2,72			
<b>2. Untersuchung</b>	16,80	12,63	2,50	2,71			

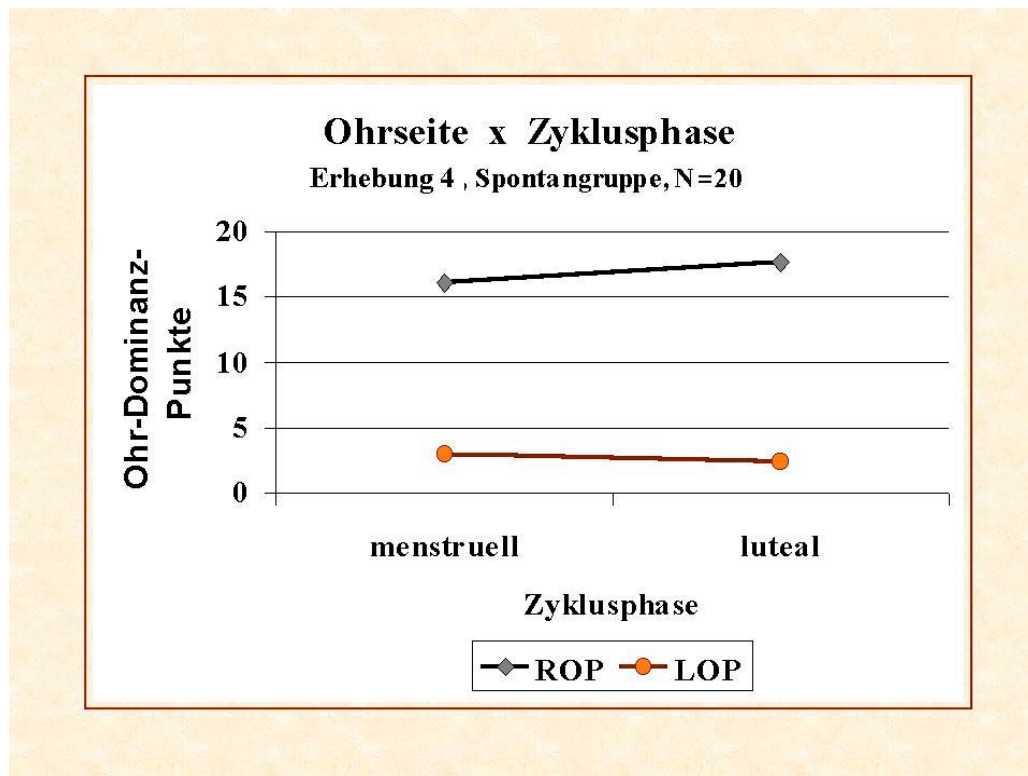


Abbildung C-9 E4, Effekte der Zyklus-Phase x Ohr-Seite, FW10a

Abbildung C-9 Mit der Serie FW10a zeigten sich nur signifikante Ohr-Effekte, die sich nicht über die Untersuchungszeitpunkte veränderten.

Haupteffekte für den Faktor Zyklusphase oder Untersuchungsabfolge bestanden nicht. Signifikante Effekte des Hormonzyklus auf die Sprachlateralisierung waren somit auch mit der Serie FW10a nicht nachzuweisen.

### C.5.5 Diskussion: Stabilität im Hormonzyklus

Von allen Gruppen zeigten die selektierten Frauengruppen (Spontan-Gruppe und Pillen-Gruppe) der Erhebung 2 die geringsten Lateralisierungen, so dass bei ihnen keine signifikante Rechts-Ohr-Vorteile nachzuweisen waren. Diese beiden Gruppen waren auch dahingehend auffällig, dass sie numerisch auch die meisten Links-Ohr-Punkte aufwiesen, während die gesamte Anzahl der Ohr-Dominanz-Punkte bei ihnen am geringsten war.

Für die Besonderheit dieser Gruppen kommt daher das schwache Kriterium für die Rechtshändigkeit in Frage. Die Händigkeit war zwar mit dem 10-Item EHI ermittelt worden, allerdings mit der Transformation in den sog. Bryden-Score. Der Bryden-

Score variiert zwischen 10 für extreme Rechtshändigkeit und 50 für extreme Linkshändigkeit. Als Kriterium war ein EHI-Bryden-Score von unter 30 gewählt worden, der für einen Rechtshänder lediglich mehr Rechts-Hand-Punkte als Links-Hand-Punkte fordert. Dass dies kein geeignetes Kriterium für die Auswahl von Rechtshändern ist, wird im Abschnitt D.4.1 eingehend erörtert. Dieses schwache Kriterium war erforderlich gewesen, da sonst nicht genügend Frauen in die Studie hätten einbezogen werden können. Der Bryden-Score für die Spontan-Gruppe lag bei einem  $MW=17,06$  ( $SD=4,14$ ,  $min=13$ ,  $max=28$ ); das entspricht im Durchschnitt 3-4 Links-Hand-Punkten im EHI und einem  $LQ=65$ . Nur ca. 25% aller Rechtshänder haben 4 oder mehr Links-Hand-Punkte (vergleiche Abschnitt D.5.3.2 S. 80). Durch das schwache Händigkeitskriterium waren somit in den Frauengruppen der Erhebung 2 vermehrt Ambidexter mit bilateralen Sprachlateralisationsformen selektiert worden.

Die Zusammenstellung einer Frauengruppe im sexuell aktiven Alter mit einem spontanen Zyklus während ihres Studiums unterliegt noch anderen impliziten Selektionsfaktoren. Die Wahrscheinlichkeit, dass bei einer solchen Gruppe eine homosexuelle Präferenz vorliegt, ist erhöht. Tatsächlich hatte die begleitende Befragung nach Geschlechtsrollenstereotypen mit dem Bem Sex Role Inventory (BSRI, Bem 1974, [44]) sowohl für die Pillen-Gruppe als auch für die Spontan-Gruppe Werte ergeben, die als androgyn einzustufen waren. In beiden Frauengruppen bei E2 waren die Weiblichkeitswerte und die Männlichkeitswerte im BSRI gleich hoch. Über die Beziehungen des sozialen Geschlechts, wie es mit dem BSRI erfasst wird, zu Hemisphärenunterschieden berichtet Weekes (1993, [45]).

In allen Zyklusstudien (E2-E4) wurde versucht, den hormonellen Einfluß durch die Untersuchung zu bestimmten Zyklus-Tagen zu variieren. Aus finanziellen Gründen war es jedoch nicht möglich, die Hormonkonzentration direkt zu bestimmen. Hausmann et al. (2002, [41]) weisen darauf hin, dass trotz gleicher Zyklusphase deutliche Unterschiede in der tatsächlichen Hormonkonzentration zwischen den Frauen bestehen können. Möglicherweise wären hormonelle Effekte nachweisbar gewesen, wenn die dichotischen Untersuchungen in Abhängigkeit von der tatsächlichen Hormokonzentration (z. B. im Speichel) hätte erfolgen können.

In den drei unabhängigen Untersuchungen mit vergleichbarem Versuchsplan konnten keine Effekte durch den weiblichen Hormonzyklus auf das Lateralisierungsergebnis

nis im dichotischen Test nachgewiesen werden. Insgesamt kann davon ausgegangen werden, dass die individuelle Zykluslage bei Frauen keinen wesentlichen Einfluß auf das Lateralisierungsergebnis mit dem vorliegenden dichotischen Stimulusmaterial hat und daher auch die Zykluslage bei individualdiagnostischen Untersuchungen nicht berücksichtigt werden muß.

## **C.6 Reliabilität 4: Korrelation zu einem Paralleltest**

### **C.6.1 Problemstellung**

Nach den oben unter C.1.2 beschriebenen Konstruktionsprinzipien wurde unter der Anleitung des Autors mit dem selben Sprecher ein zweiter Pool dichotischer Items erstellt (FW12k, Gothe 1996, [46]). Ziel war es für Kinder oder Probanden, die nicht lesen können, bildhaft darstellbare Wörter vorlegen zu können, auf die die Probanden als Reaktion zeigen können. Der Test wurde an drei Schulklassen erprobt. Daten über den Zusammenhang der Serien FW10b und FW12k lagen bisher nicht vor. An einer Gruppe gesunder Erwachsener sollte die Korrelation zwischen den beiden Tests FW10b und FW12k ermittelt werden (Parallel-Test-Reliabilität).

### **C.6.2 Hypothesen**

Hypothese C.6-1: Korrelation zum Paralleltest FW12k

**H0:** Die beiden unabhängig voneinander konstruierten Itemserien FW10b und FW12k korrelieren nicht miteinander.

**H1:** Die beiden unabhängig voneinander konstruierten Itemserien FW10b und FW12k korrelieren hoch und signifikant miteinander.

Hypothese C.6-2: Gleichheit der Lateralisierungsstärke

**H0:** Die beiden Serien unterscheiden sich nicht in der Stärke ihres Lateralisierungsergebnisses.

**H1:** Die beiden Serien unterscheiden sich in der Stärke ihres Lateralisierungsergebnisses.

Hypothese C.6-3: Geschlechtseffekte

**H0:** Die Lateralisierungsergebnisse sind unabhängig vom Geschlecht der Probanden.

**H1:** Die Lateralisierungsergebnisse sind abhängig vom Geschlecht der Probanden.

### **C.6.3 Methoden**

Mit zwei Gruppen von N=16 männlichen und N=17 weiblichen Probanden sind beide Verfahren (FW10b, FW12k) durchgeführt worden. Ihr Alter variierte von 19 bis 31 Jahren, mit einem Mittelwert von 25 Jahren. Mehrheitlich waren es Studenten (N=28), berufstätig waren 5 Probanden. Die Händigkeit der Versuchspersonen war



überwiegend rechtshändig. Bei einem engen Rechtshändigkeitskriterium von einem  $EHI_{LQ}$  von mindestens +70 waren 24 Probanden rechtshändig und 9 nicht-rechtshändig.

Der Hörtest FW10b wurde entsprechend der Instruktion alleine am PC bearbeitet (Instruktion s. Anhang H-05 S. 131). Beim FW12k wurden unmittelbar nach jedem auditiven Item die Bilder vorgelegt. Der Proband konnte danach verbal oder nonverbal seine Reaktion abgeben, die dann vom Versuchsleiter in den PC eingegeben wurde (Anhang H-06, S. 132). Als weitere Variablen wurden die Händigkeit (EHI) und evtl. frühere zerebrale Erkrankungen erfragt.

Aus den Ohrpunkten wurden als abhängige Variablen die Lambda Werte (z-Lambda, Lambda) berechnet. Die unabhängigen Variablen sind Geschlecht, Reihenfolge und das dichotische Verfahren. Die Hypothese C.6-1 soll durch eine Korrelation der Lateralitätsindizes und durch Assoziationsindizes zwischen den Lateralisierungskategorien geprüft werden (Mehrfeldertafel). Hypothese C.6-2 u. Hypothese C.6-3 können durch eine 3 faktorielle MANOVA (Geschlecht x Reihenfolge x dichot. Verfahren) mit Meßwiederholung auf einem Faktor (dichot. Verfahren) getestet werden.

## **C.6.4 Ergebnisse**

### **C.6.4.1 Zusammenhang zwischen FW10b und FW12k**

Die Pearson-Korrelation zwischen den  $\lambda$ -Werten war signifikant ( $p = 0,000001$ ) und mit  $r = 0,73$  zufriedenstellend hoch und bestätigte die Hypothese C.6-1. Wie die zeigt, wird die numerische Höhe der Korrelation wesentlich durch zwei rechtslateralisierte Probanden gestützt, die von beiden Tests erkannt worden waren. Aus den Standardmeßfehlern konnten für beide Tests die Grenzen für Bilateralität berechnet werden (vergl. Abschnitt 0, S. 27). Bilateralität lag für FW10b in den Grenzen von  $-0,52 \leq \lambda \leq 0,52$  und für FW12k  $-0,64 \leq \lambda \leq 0,64$ . Mit diesen Grenzen ergaben sich 3/33 Fehlklassifikationen in den Kategorien links, rechts und bilateral.

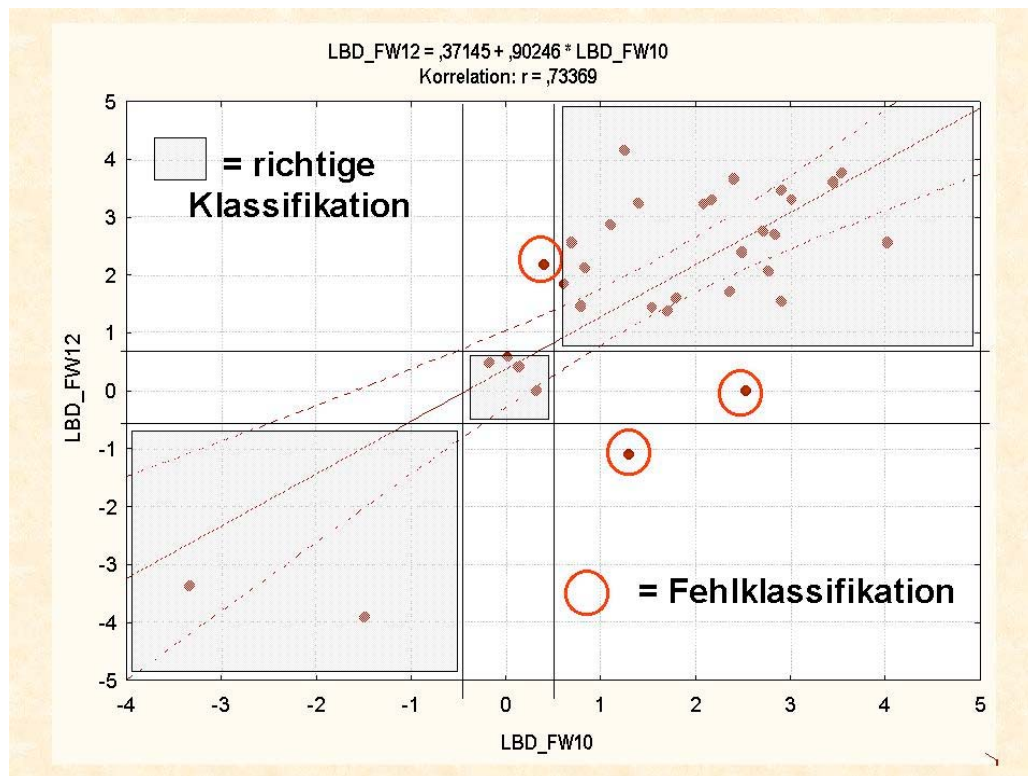


Abbildung C-10 Produkt-Moment Korrelation zwischen FW10b und FW12k (N=33)

Regressionsgerade des Zusammenhanges der Lambda-Werte zwischen FW10b und FW12k für N=33 Probanden:  $\lambda\text{-FW12k} = 0,37 + 0,90 (\lambda\text{-FW10b})$ . Die schwarzen horizontalen und vertikalen Linien stellen die Grenzen für die bilaterale Kategorie dar.

Das Lateralisierungsergebnis  $\lambda$  wurde anhand des z-Lambda-Wertes für beide Tests in die Lateralisierungsgruppen links, rechts und bilateral eingeteilt und in eine Mehrfeldertafel eingetragen (Tabelle C-18).

Tabelle C-18 Lateralisierungskategorien links, rechts, bilateral, Mehrfeldertafel

		FW12K			
		links	bilateral	rechts	gesamt
FW10B	links	24	1	1	26
	bilateral	1	4	0	5
	rechts	0	0	2	2
	gesamt	25	5	3	33

Tabelle C-18 Kontingenzen der Lateralitätskategorien bei FW10b und FW12k.

In 91% der Fälle stimmten die Zuordnungen der Versuchspersonen zu den Kategorien zwischen den beiden Tests überein. Die Assoziationskoeffizienten dieser Mehrfeldertafel waren signifikant und hoch, die Korrelationen lagen bei  $r=0.73$  bzw.  $R=0.74$  (Pearson Chi-Quadrat 40,30400,  $df=4$ ,  $p \leq ,00001$ , M-L Chi-Quadrat 25,26119,  $df=4$ ,  $p = ,00004$ , Spearman Rang-R,  $= 0,7449265$ ,  $t=6,2169$ ,  $p \leq ,00001$ ). Die Hypothese C.6-1 ließ sich auch auf diesem Wege statistisch bestätigen.

#### C.6.4.2 Stärke der Lateralisierung von FW10b und FW121k

Mit beiden Tests konnte eine signifikante Wahrnehmungs-Asymmetrie demonstriert werden, d. h. im Durchschnitt ergaben sich mehr als 12 Ohrpunkte Differenz zwischen LOP und ROP. Dies war dadurch möglich, da überwiegend stark rechtshändige Probanden untersucht worden waren. Die Tabelle C-19 faßt die deskriptiven Daten zusammen.

Tabelle C-19 Mittelwerte der Ohrpunkte und  $\lambda$ -Werte in den Parallelformen

	LOP	ROP	Fehler	$\lambda$ -M	$\lambda$ -SD	S <sub>e</sub>	Kategoriengrenze z $\lambda$
							für bilateral
FW10b	4,36	16,51	1,3	1,54	1,52	0,264	$-0,52 \leq \lambda \leq 0,52$
FW12k	4,87	19,18	0,3	1,76	1,87	0,325	$-0,64 \leq \lambda \leq 0,64$

Tabelle C-19 Die Tabelle zeigt die deskriptiven Statistiken der beiden Paralleltests für N=33 Probanden. Se = Standard Error of Measurement, Stichprobenfehler. Unterhalb des bilateralen Bereiches von Lambda (-) liegen die Rechtshäufigkeiten der Sprache, oberhalb (+) liegen die Linkshäufigkeiten.

Ein parameterfreier Wilcoxon Test zwischen den z-Lambda-Werten der beiden Tests zeigte keinen signifikanten Unterschied in der Stärke der Lateralisierung (N=33, T=268,0000, 0,223348,  $p=0,823265$ ). Auch die parametrische Überprüfung mit einem t-Test für abhängige Daten erbrachte keinen Unterschied. Die Hypothese C.6-2, dass die beiden Tests keine Unterschiede in ihrer Lateralisierungsstärke aufweisen, war beizubehalten (Tabelle C-20).

Tabelle C-20 Lateralisierungsstärke (FW10b, FW12k), t-Test der z-Lambda-Werte

dichotischer Test	MW	SD	N	Diff.	Stdabw.	t	FG	p
					Diff.			
FW10b, zlb-d-10	5,82	5,74						
FW12k, zlb-d-12	5,41	5,74	33	0,41	4,19	0,56	32	0,576

Tabelle C-20 Die z-Lambda-Werte der beiden dichotischen Tests FW10b und FW12k unterscheiden sich weder in der Höhe noch in der Variabilität.

### C.6.4.3 Händigkeit und Geschlecht

Die Effekte von Händigkeit und Geschlecht werden in einer getrennten Studie dargestellt, da bei der Probandengruppe C.6 bezüglich der Händigkeit nur eine geringe Variabilität vorliegt (überwiegend Rechtshänder). Wählt man als Untergrenze für Rechtshändigkeit einen Wert von  $EHI_{-LQ} = +70$  (vergleiche Kap. D.5.3.2), so gab es in der Stichprobe 24 Rechtshänder und 9 Nicht-Rechtshänder. In acht Fällen wurde eine familiäre Linkshändigkeit berichtet. In vier Fällen trat die familiäre Linkshändigkeit zusammen mit Nicht-Rechtshändigkeit des Probanden auf. Im t-Test ergaben sich keine signifikanten Unterschiede in den Lambda-Werten des FW10b und FW12k zwischen den Händigkeitsgruppen. Eine einfaktorielle Varianzanalyse zeigte jedoch, dass der Faktor Lateralitätsquotient ( $EHI_{-LQ}$ ) auch in dieser Studie einen signifikanten Einfluss auf die Lambda-Werte hatte: FW10b:  $F(9, 23)=2,99$ ;  $p=0,02$ , FW12k:  $F(9, 23)=3,24$ ;  $p=0,01$  (Vergl. Abschnitt D.7 S. 93). Familiäre Linkshändigkeit und Geschlecht stellten varianzanalytisch keine signifikanten Einflussgrößen dar. Ähnlich wie in den anderen Stichproben lagen die Mittelwert der Lambda-Indizes für männliche Probanden numerisch höher als für weibliche (FW10b:  $\lambda_{weibl.}=1,40$ ;  $\lambda_{männl.}=1,70$ ; FW12k:  $\lambda_{weibl.}=1,43$ ;  $\lambda_{männl.}=2,12$ ). In der vorliegenden Stichprobe C.6 zeigte sich jedoch kein signifikanter Unterschied zwischen den Geschlechtern. Frühere Hirnerkrankungen wurden von 3 Probanden berichtet (zweimal Meningitiden, einmal Fieberkrämpfe), die varianzanalytisch jedoch keinen Einfluss auf die Lambda-Werte hatten.

### **C.6.5 Diskussion: Korrelation zum Paralleltest**

Die Korrelation zwischen den Paralleltests war mit  $r=.73$  erwartungsgemäß hoch und lag damit im Bereich der Re-Test-Reliabilität der Serie FW21a bei verschiedenen Personengruppen von  $r=.65$  bis  $r=.87$  (Hättig & Beier 2000, [47]). Der Einfluß des Geschlechts konnte sich nicht signifikant abzeichnen. Es besteht eine deutliche Assoziation der dichotischen Sprachlateralisation mit der Händigkeit, die sich auch in dieser Gruppe statistisch nachweisen ließ, obwohl die Zusammensetzung der Gruppe ganz überwiegend aus Rechtshändern bestand und das Merkmal "Rechtshändigkeit" kaum variierte.

Nur 2 Probanden hatten Lambda-Werte, die für eine Rechtslateralisierung sprachen. Beide dichotischen Tests haben diese Probanden übereinstimmend als rechtslateralisiert erkannt.

## **C.7 Validität: Übereinstimmung mit der Wada Lateralisierung**

Nach der Fertigstellung der Itemserie FW10b war das Verfahren bereits 1996 in der PC Version an das Max Planck Institut für Kognitive Neurowissenschaft in Leipzig weitergeben worden, da es dort im Zusammenhang mit einer Sprach-fMRT-Untersuchung eingesetzt werden sollte. Inzwischen wurden von der Arbeitsgruppe die Ergebnisse dieser Studie vorgelegt (Hund-Georgiadis et al 2002, [50]). In der Studie wurde ein Sprach-fMRT-Paradigma (Wort-Klassifikation) und die Itemserie FW10b mit 17 Links- und 17 Rechtshändern durchgeführt. Die Übereinstimmung zwischen den beiden Verfahren betrug 97,1 %. Auch in dieser Studie zeigte sich eine deutliche Assoziation des Lateralisierungsergebnisses aus der Serie FW10b mit der Händigkeit der Probanden. Durch diese Studie liegt somit bereits ein gültiger Validitätsnachweis des dichotischen Tests FW10b mit einem aktivierenden Verfahren an gesunden Probanden mit variierender Händigkeit vor.

Die nachfolgende Untersuchung analysiert die Übereinstimmung der Serie FW21a mit dem Wada-Lateralisierungsergebnis bei epilepsiechirurgischen Kandidaten.

### **C.7.1 Problemstellung**

Zur Beurteilung der Validität der Sprachlateralisierung eines dichotischen Tests ist die Orientierung am Wada-Test wesentlich problematischer, als es auf den ersten Blick erscheinen mag. Neben den notorischen Defiziten des Wada-Tests hinsichtlich seiner Standardisierung und Quantifizierung gibt es auch grundsätzliche Unterschiede in der Konzeption dessen, was unter Sprachlateralisierung in den beiden unterschiedlichen Methoden verstanden wird.

#### **C.7.1.1 Unterschiedliche Konzepte der Sprachlateralisierung**

Im dichotischen Test wird eine (Sprach-) Perzeptionsasymmetrie als Lateralisierung interpretiert. Sie stellt eine Asymmetrie im aktuellen Vollzug der Sprachwahrnehmung dar. Von dieser aktuellen perzeptuellen Lateralisierung wird auf die überdauernde funktionelle Spezialisierung (=Lateralisierung) der Hemisphären geschlossen. Im Wada-Test dagegen wird offengelegt, welche potentielle Kompensationsmöglich-

keiten das Sprachsystem aufweist, sobald größere Teile einer Hemisphäre ausfallen. Der Wada-Test prüft nicht, wie sich Lateralisierung bei zwei intakten und kooperierenden Hemisphären im Vollzug der Funktion tatsächlich herausbildet. Das wird im Nachhinein aus dem Kompensationsmuster der beiden Hemisphären erschlossen. Ob sich z. B. die wechselseitige Kompensationsfähigkeit (=Wada-Bilateralität), die sich unter der Bedingung des Ausfalles einer Hemisphäre im Wada-Test zeigte, tatsächlich auch im aktuellen Funktionsvollzug außerhalb des Wada-Tests manifestiert, ist zu bezweifeln. Die beiden Hemisphären können zwar wechselseitig kompensationsfähig sein, im aktuellen Vollzug können sie die Leistung trotzdem asymmetrisch erbringen. Dafür spricht die geringe Übereinstimmung von Wada-Test und dichotischem Test gerade in der Gruppe der Wada-bilateralen Probanden (Zatorre 1989, [13]). Während im dichotischen Test die Lateralisierung des aktuellen Funktionsvollzuges abgebildet wird, repräsentiert das Wada-Test-Ergebnis die Asymmetrie der latenten Fähigkeit zur Funktions-Kompensation. Aus dieser Sicht wäre insgesamt zu erwarten, daß auch die Ergebnisse von Sprachaktivierungsstudien (PET und fMRT) und dichotischem Test höher untereinander korrelieren, als jede dieser Methoden mit dem Wada-Test. Der Grund hierfür ist im Anteil der Individuen mit den im Wada-Test bilateralen Organisationsformen zu suchen. Ihre Lateralisierung im aktuellen Vollzug der Funktion kann aus den latenten Kompensationsmöglichkeiten, wie sie im Wada-Test sichtbar werden, kaum vorhergesagt werden. In Untersuchungsgruppen mit ausschließlich unilateralen Organisationstypen - seien sie links oder rechts - wären dagegen befriedigendere Übereinstimmungen in der Lateralitätsdiagnostik zwischen den Methoden der latenten und aktuellen Lateralisierung zu erwarten. Aus dieser Sicht stellen aktivierende Verfahren (PET, fMRT, TCSDS) für einen dichotischen Test im Prinzip geeignetere Validierungskriterien dar.

### **C.7.1.2 Unterschiedliche Formen der Bilateralität**

Die Vorstellung, Bilateralität könne auf einem hypothetischen Kontinuum zwischen links- und und rechtshemisphärischer Sprachlateralisierung angeordnet werden, gilt sicher nur für einen Teil aller als „bilateral“ klassifizierten Personen. Kurthen et al. (1994, [48]) unterschieden 4 Organisationsformen, die im Wada-Test zur Klassifikation "bilateral" führen. (1.) Bei der interhemisphärischen Dissoziation sind einige sprachliche Teilfunktionen vollständig in der einen Hemisphäre repräsentiert, wäh-

rend andere vollständig in der anderen Hemisphäre geleistet werden. (2.) Im Falle der doppelten Repräsentation von Teilfunktionen kann jede Hemisphäre die entsprechende Teilfunktion autonom erbringen. (3.) Liegt eine partielle Repräsentation von Teilfunktionen in einer Hemisphäre vor, so kann die entsprechende Teilfunktion nur geleistet werden, wenn beide Hemisphären intakt und kooperationsfähig sind. (4.) Die unilaterale Repräsentation von Teilfunktionen stellt eine Mischform dar, in der einige Teilfunktionen bilateral repräsentiert sind, während andere unilateral (dissoziiert) repräsentiert sind. Die Annahme eines kontinuierlichen Lateralisierungsgrades, wie sie in einem Index wie Lambda zum Ausdruck kommt, setzt eigentlich eine bilaterale Organisation nach dem Muster der doppelten Repräsentation voraus. Dabei sollte die Qualität der Teilfunktion von jeder Hemisphäre alleine erbracht werden können, aber hinsichtlich der Leistungshöhe zwischen den Hemisphären eine Komplementarität bestehen. Aufgrund von eigenen kasuistischen Beobachtungen bei Patienten mit dissoziierten expressiven und rezeptiven Sprachfunktionen im Wada-Test ist zu vermuten, daß der FRWT nur die rezeptive Funktion anzeigt (Meencke, Hättig, Dehnicke & Lanksch 1998, [59]). Als entscheidende rezeptive Verarbeitungsebene ist dabei nicht schon die phonologische Entschlüsselung der Sprachlaute anzusehen, sondern erst ihre lexikalische Interpretation (lexikalischer Zugang).

### **C.7.1.3 Effekte von funktionellen und morphologischen Läsionen**

Der Wada Test wird als invasives Verfahren praktisch ausschließlich an Probanden durchgeführt, die als chirurgische Kandidaten einen Tumor oder die als epilepsiechirurgische Kandidaten eine fokale Epilepsie aufgrund von Läsionen der unterschiedlichsten Ätiologien haben. Die Läsionen der Patienten beeinflussen einerseits selbst die Durchführbarkeit des Wada-Tests und schmälern dadurch seine Validität. So kommt es häufig zu längeren Störungen der Wachheit während des Wada Tests, wenn das Amobarbital in die gesunde Hemisphäre injiziert wird, wenn also die lädierte Seite die Funktion alleine aufrechterhalten soll. Dieser Effekt wird noch verstärkt, wenn - wie meist üblich - die erste Injektion in die lädierte Seite erfolgt und die zweite Injektion in die gesunde Seite. Dann hat die lädierte Seite zusätzlich zu ihrer funktionellen Läsion von der vorausgegangenen Injektion (ca. 30 min früher) noch einen Amobarbital-"hang-over". Diese Effekte schränken die Verlässlichkeit der Erfassung der Sprachlateralität durch den Wada Test ein.



Daneben beeinflussen die meist unilateralen bzw. stark asymmetrischen Läsionen auch die Ergebnisse des dichotischen Tests. Der Haupteffekt einer unilateralen, insbesondere einer temporalen Läsion, besteht darin, dass bei dichotischer Stimulation, die Antwortrate vom kontraläsionalen Ohr suprimiert wird. Es ergibt sich in bezug auf die Seitigkeitseffekte ein Störungsmuster wie bei einem Neglectsyndrom. Die dichotische Stimulation stellt dabei gewissermaßen eine auditive simultane Doppelstimulation dar, wobei der Stimulus der kontraläsionalen Seite vernachlässigt wird. Ob der dichotische Test das Wada-Lateralisierungsergebnis reproduzieren kann, hängt auch davon ab, wie viele Patienten mit relevanten Temporallappen-Läsionen sich in der Untersuchungsgruppe befinden. Die Effekte temporaler Läsionen werden im Abschnitt E.1 der Arbeit eingehend analysiert und diskutiert. Sie bestimmen ganz wesentlich die Interpretation und den klinischen Einsatz eines dichotischen Tests bei epilepsiechirurgischen Kandidaten. Aus dieser Sicht stellt das Wada-Lateralisierungsergebnis von Patienten mit fokalen Epilepsien keineswegs ein ideales Validierungskriterium für einen dichotischen Hörtest dar.

### C.7.2 Hypothesen

Hypothese C.7-1 Übereinstimmung mit der Wada-Lateralisierung, FW21a

**H0:** Es besteht keine signifikante Übereinstimmung zwischen der Klassifizierung der Sprachlateralität durch den Wada Test und der Klassifizierung durch die Itemserie FW21a in den Kategorien links, rechts und bilateral.

**H1:** Es besteht eine signifikante Übereinstimmung zwischen der Klassifizierung der Sprachlateralität durch den Wada Test und der Klassifizierung durch die Itemserie FW21a in den Kategorien links, rechts und bilateral.

Die Hypothese C.7-1 bezieht sich auf die Assoziation zwischen qualitativen Merkmalen (Lateralisierungs-Kategorien) und wird daher durch eine Kontingenztafel und einen entsprechenden  $\chi^2$ -Test überprüft.

### C.7.3 Methoden

#### C.7.3.1 Versuchspersonen

Als klinisches Validierungskriterium sollten die Lateralisierungsergebnisse der Serie FW21a mit der Beurteilung der Sprachlateralisation aus dem Wada-Test nach den Kategorien links, rechts oder bilateral verglichen werden. Hierzu wurden N=23 Patienten der epilepsiechirurgischen Zentren Berlin (N=13, 9w, 4m) und Bonn (N=10, 5w, 5m) untersucht. Alle Versuchspersonen wurden vorher einem Screening der Hörfähigkeit für die Frequenzen 500, 1000, 2000 und 4000 Hz unterzogen.

#### C.7.3.2 Lateralisierungskategorien

Es wurde eine Klassifizierung der Sprachlateralisierung der Patienten in den Kategorien links, rechts und bilateral für das Wada-Testergebnis und für den Lambda-Wert des dichotischen Tests vorgenommen. Die Kategorisierung anhand des Wada-Tests erfolgt nach dem jeweils verwendeten Testprotokoll (Berliner Patienten Cleveland-Bielefeld Protokoll, Anhang H-10 S. 134, Bonner Patienten Protokoll nach Kurthen et al 1994, [48]). Für die Kategorisierung nach dem dichotischen Test kann der Lambda-Wert der rechtshändigen Kontrollgruppe N=12 herangezogen werden (Mittelwert  $x(\lambda)$ , Streuung  $s(\lambda)$ ). Lambda lässt sich z - transformieren, indem Lambda durch seinen Stichprobenfehler (SE) dividiert wird ( $z\lambda = \lambda / SE(\lambda)$ ). Danach kann ein Konfidenzintervall für eine Linkslateralisierung angegeben werden. In den klinischen Gruppen wäre noch ein  $z\lambda$  Wert (bei  $\alpha=0.05$ ) von über +1,64 als Ausdruck einer Linkslateralisierung zu werten. Werte von  $z\lambda$  unterhalb von -1,64 sind als rechtslateralisiert zu werten, alle dazwischen liegenden als bilateral (Erhebung 1).

#### C.7.4 Ergebnisse

Die beiden Patienten mit der Wada-Diagnose „rechtslateralisiert“ wurden vom dichotischen Test richtig erkannt und lagen mit ihren z-Lambda-Werten im rechtslateralisierten Bereich ( $\lambda=-1.79$  und  $\lambda=-3.69$ ). Zwei von den drei Patienten, die aus dem Wada-Test als „bilateral“ klassifiziert worden waren, lagen jedoch nicht innerhalb des bilateralen z-Lambda. Einer wurde als linkslateralisiert und einer als rechtslateralisiert eingestuft. Insgesamt ergaben sich bei den N=23 Patienten 2 Fehlklassifikationen (91% Treffer). Tabelle C-21 fasst die deskriptiven Daten zusammen.

Tabelle C-21 Mittelwerte und Streuungen der  $\lambda$ -Werte (FW21a),

Gruppe	N	MW	SD	Min.	Max.	WI	DI	Wr	Dr	Wb	Db
Berlin	13	+ 2,08	1.64	- 1.79	+ 3.89	12	11	1	1	0	1
Bonn	10	+ 1.67	2.46	- 3.69	+ 4.14	6	8	1	1	3	1
Kontr. Grp	12	+ 2.02	1.14	+ 0.15	+3.49	--	12	--	--	--	--

Tabelle C-21 Mittelwerte, Streuungen, Minimum und Maximum der  $\lambda$ -Werte aus den Epilepsiechirurgischen Gruppen WI = Wada linkslateralisiert, Wr = Wada rechtslateralisiert, Wb = Wada bilateral, D = dichotisch linkslateralisiert (ROV), Dr = dichotisch rechtslateralisiert (LOV), Db = dichotisch bilateral.

Tabelle C-22 Kreuztabelle, Wada-Test und dichotischer Test (FW21a)

N=23		Wada-Test			
		links	bilateral	rechts	gesamt
FW21a	links	18	1		19
	bilateral		1		1
	rechts		1	2	3
	gesamt	18	3	2	23

Die Übereinstimmung der beiden Kategorisierungen war statistisch signifikant, so dass für die Hypothese C.7-1 die H1 angenommen werden konnte (Pearson Chi-Quadrat=24,74 df=4, p=0.00006, M-L Chi-Quadrat=19,16 df=4, p=0.00073).

### C.7.5 Diskussion: Übereinstimmung mit der Wada-Lateralisierung

Im amerikanischen Test kam Zatorre (1989, [13]) ohne Angabe eines kritischen Intervalles zu einer Übereinstimmung von 94%, während die vorliegende Analyse 91% richtige Klassifikationen ergab. Die Beobachtung einer hohen prozentualen Übereinstimmung zwischen der Klassifikation des Wada-Tests und der Klassifikation durch den dichotischen Test bleibt als Validitätsnachweis unbefriedigend, da die Grundraten in den Stichproben für die Lateralisierungskategorien des Wada-Tests sehr asymmetrisch zugunsten der Linkslateralisierung verteilt waren (N=18).

Eine Übereinstimmung in der Höhe von 91% ist vermutlich nur dem Umstand geschuldet, dass sich in den klinischen Gruppen zufällig wenige oder keine Patienten befanden, die extra-hippocampale Läsionen des Temporallappens auf der sprachdominanten Seite hatten. Für die vorliegende Studie waren die MRT Befunde jedoch nicht zugänglich, die eine detaillierte Aufschlüsselung der Läsion erlaubt hätten. Die Ergebnisse der nachfolgenden Analysen von temporo-mesialen und temporo-lateralen Läsionen unter E.1.4 S. 106 zeigten auch für die "fused words" Technik massive Läsionseffekte, sobald temporo-laterale Läsionen auf der sprachdominanten Seite vorliegen. Läsionseffekte verfälschen das Lateralisierungsergebnis des dichotischen Tests, lassen aber die Wada-Lateralisierung unberührt und mindern so prinzipiell den Grad der Übereinstimmung zwischen den beiden Verfahren.

Die Beobachtung der hohen Übereinstimmung mit dem Wada-Lateralisierungsergebnis widerspricht nicht der Möglichkeit, dass die Itemserie FW21a valide sein könnte. Als gültiger Validitätsnachweis ist jedoch der Übereinstimmung mit einem aktivierenden Verfahren, wie dem fMRT - bei gesunden Probanden - mehr Gewicht zuzusprechen. Für die Serie FW10b wurde die Validität durch Hund-Georgiadis et al (2002, [50]) in einer entsprechenden Studie nachgewiesen.

## **D Sprachlateralität und Händigkeit: Effekte im dichotischen Test FW10b**

### **D.1 Theorie der Lateralität**

"Wir sprechen mit der linken Hemisphäre!" war die knappe Regel, auf die Broca 1865 die Beziehung zwischen Gehirn und Sprachfunktion bei Rechtshändern brachte. Für Linkshänder postulierte er eine Kontrolle der Sprache durch die rechte Hemisphäre. Etwa 120 Jahre später hatte diese Regel folgende Modifikationen erhalten. "(1) The left hemisphere is crucial (dominant) for language in the right-handed individual. (2) Non-right-handers are much less definite in the cerebral locus of language; some may have language dominance in the right hemisphere, some in the left, but most have mixed hemispheric dominance (Benson 1985, [51])". Um das Ergebnis eines dichotischen Tests interpretieren zu können, ist es erforderlich, seine Beziehung zur Händigkeit zu kennen, ob er die erwarteten geringeren Rechts-Ohr-Vorteile bei Nicht-Rechtshändern aufweist. In der Analyse der Beziehung zu dem auf der Oberfläche scheinbar simplen Merkmal der Händigkeit erweist sich die motorische Lateralität - ebenso wie die Sprachlateralität - selbst als ein komplexes Merkmal, dessen biologische Herkunft und Verankerung noch keineswegs geklärt ist. Die Entwicklung morphologischer und funktioneller Asymmetrien des Gehirns sind hier zu berücksichtigen.

#### **D.1.1 Morphologisch-strukturelle Hemisphärenunterschiede**

In der initialen Studie von Geschwind und Levitsky (1968, [52]) war in 70% der 100 autoptischen Fälle ein größeres Planum temporale (PT) in der linken Hemisphäre beobachtet worden. Die Re-Analyse dieser Daten, bei der eine Korrektur für die absolute Hirngröße eingeführt wurde, zeigte, dass die Asymmetrie auf eine Modulation der rechten Hemisphäre zurückzuführen war (Galaburda et al. 1987, [53]). Während das linke PT nach der Korrektur nahezu konstant blieb, wiesen die asymmetrischen Fälle ein kleineres rechtes PT auf. Der Vergleich von Fällen mit und ohne PT Asymmetrie (nach der Korrektur) führte zu dem Schluß, dass die Asymmetrie durch eine Modulation der rechten Hemisphäre entstanden sein mußte.

Durch die morphologischen in-vivo Analysen mit der MRT-Technik ist es nun möglich, die Händigkeit in den Studien verlässlich zu berücksichtigen, was in den post-mortem Studien nur unvollständig gelang (Befragung von Angehörigen). Steinmetz et al. (1995, [54]) teilten die morphologischen Daten (Planum temporale im MRT) monozygoter Zwillinge in 2 Gruppen auf, je nachdem, ob das Zwillingspaar hinsichtlich der Händigkeit konkordant oder diskordant war. In beiden Gruppen bestanden innerhalb der Paare nur geringe Zusammenhänge zwischen den zerebralmorphologischen und den motorisch-funktionellen Asymmetrien. Die Rechtshänder zeigten jedoch hypothesenkonform ein größeres PT in der linken Hemisphäre, während die Linkshänder keine morphologischen Asymmetrien erkennen ließen. Die Studie zeigte eine Kopplung von Rechtshändigkeit und größerem linken PT. Die Ursachen für die Asymmetrie mußten aber - bei identischer genetischer Ausstattung - intrauterinen bzw. epigenetischen Faktoren zugeschrieben werden.

In einer ähnlichen Studie an mono- und dizygoten Zwillingen (MRT-Technik) konnten Eckert et al. (2002, [55]) für die Größe des PT zwar eine schwache Erbllichkeit nachweisen, kamen aber ebenfalls zu dem Schluß, dass exogene perinatale Faktoren die Epigenese der PT-Asymmetrie beeinflussen.

Neben den makroskopischen Asymmetrien wurden auch zytoarchitektonische Hemisphärenunterschiede beschrieben. Scheibel et. al. (1985, [56]) verglichen das Verzweigungsmuster der Dendriten zwischen den beiden Hemisphären. Aus dem Broca-Areal (area triangularis-opercularis) und dem etwas weiter posterior gelegenen orofacialen Areal im primären Motorkortex wurde autoptisch Kortexgewebe entnommen und mit den Verzweigungsmustern der homologen Kortexregionen der rechten Hemisphäre verglichen. In Abhängigkeit von der Händigkeit zeigten sich für die Probe aus der opercular Region besondere Muster. Die Dendriten aus der opercular Region der dominanten Hemispären waren in den distalen Bereichen differenzierter verzweigt als in der nicht-dominanten Hemisphäre (Zahl der Intersektionen mit konfokalen Ringen). Die distalen Abschnitte (Segmente 4, 5 u. 6) aus dieser Region hatte auch einen größeren Anteil an den Gesamtlängen.

Zur Erklärung morphologischer Asymmetrien ging die Testosterontheorie von Geschwind und Galaburda (1987, [57]) davon aus, daß Testosteron - möglicherweise in

Interaktion mit einem anderen unbekannten asymmetrisch im Gehirn verteilten Stoff, das Wachstum der linken Hemisphäre verzögert und so die hemisphäralen Asymmetrien erzeugen. Gleichzeitig würden dadurch auch die grundlegenden funktionellen Asymmetrien vorgebahnt. Durch die zeitverschobene Entwicklung der Hemisphären resultiere pränatal eine früher funktionsfähige rechte Hemisphäre, die empfänglicher wäre für zeitspezifische intrauterine Stimulationen (undifferenzierte Wahrnehmung, "low-Frequencies", Umgebungsgeräusche, Ganz-Körper-Bewegungen u. a). Die intrauterine Leitung differenzierter hoch-frequenter akustischer Ereignisse wie die zweiten u. dritten Formanten-Übergänge von Konsonanten würden erst mit der Ausdehnung des Uterus möglich. Diese Stimulation falle in die spätere intrauterine Entwicklungszeit der linken Hemisphäre und führten dazu, dass sich ausgehend von der Sprachperzeption die Sprachprozesse insgesamt auf der linken Hemisphäre ansiedeln. Neben dem Einfluß auf die Asymmetrie von Hirnfunktionen beeinflusse ein erhöhter Testosteron-Spiegel auch das Immunsystem und die regionale Zytoarchitektur des Kortex und sei deshalb mit Autoimmunerkrankungen und neurogenen Entwicklungspathologien assoziiert. Die Testosteron-Theorie hat zu zahlreichen Studien angeregt, die letztlich auch die Grenzen ihrer ursprünglich ausufernden Erklärungsansprüche aufzeigten (Bryden et al. 1994, [77]). Trotzdem haben sich Steroidhormone als Modulatoren erwiesen, die das Gehirn in Morphologie und Funktion geschlechtlich prägen.

### **D.1.2 Geschlechtseinflüsse auf Gehirnmorphologie und Lateralität**

Geschlechtshormone sind lipophil und können daher - wie zahlreiche andere Peptid- und Steroidhormone auch - die Membran eines Nerven durchdringen und direkt oder indirekt Ableseprozesse am genetischen Code bewirken, die wiederum wachstumsstimulierende Effekte zur Folge haben.

Hampson & Kimura (1992, S. 368, [38]) haben eine Liste von Studien zusammengestellt, in denen makroskopisch-anatomische Geschlechtsunterschiede des Gehirns gefunden wurden. (1) "Weight differences between L and R hemispheres less marked in females than in males" (2) "Planum temporale larger on R more often in females than in males (but usually larger on L in both sexes)" (3) "Cuneate area of occipital lobe larger on R in females, larger on L in males" (4) "Entire R cortex more developed in males, L prefrontal cortex in females, at 13 weeks gestation." (5) "volume of caudate nucleus larger on R in males, larger on L in females." (6) "Agenesis of

massa intermedia more frequent in males than in females." (7) "maximum splenial width larger in females; area of splenium larger in females than in males ( $p < .08$ )."

(8) "Anterior commissure at the midsagittal plane larger in females." (9) "Nuclei of the preoptic-anterior hypothalamic area larger in males than in females."

Zusammenfassend können sich die linke und die rechte Hemisphäre sowohl makroskopisch als auch in ihrem dendritischen Verzweigungsmuster unterscheiden. Mehrere morphologische Asymmetrien zwischen den Hemisphären sind zusätzlich auch zwischen den Geschlechtern unterschiedlich stark ausgeprägt. Die bestehenden strukturellen Asymmetrien lassen es als möglich erscheinen, dass sie die Ausbildung unterschiedlicher Funktionen in den beiden Hemisphären begünstigen. Springer & Deutsch (1998, S. 215, [72]) kommen jedoch zu dem Schluß, dass die bestehenden Annahmen über den Zusammenhang von zerebralen Asymmetrien und funktionellen Asymmetrien gegenwärtig noch keineswegs gesichert sind. " .... Im Grunde genommen ist nicht einmal für den Menschen die Verbindung zwischen anatomischen und funktionellen Asymmetrien überzeugend belegt. Möglicherweise hängen Asymmetrien im Gehirn von Primaten und Ratten nicht mit Verhaltensasymmetrien zusammen - so wie auch die Asymmetrien im menschlichen Gehirn durchaus von Verhaltensunterschieden unabhängig sein können.....". Morphologische Studien an monozygoten Zwillingen legen nahe, dass intrauterine epigenetische (exogene) Faktoren für die Entstehung der Asymmetrien eine wichtige Rolle spielen.

### **D.1.3 Entwicklung der funktionellen Asymmetrien des Gehirns**

Die funktionelle Asymmetrie des menschlichen Gehirns unterscheidet sich in Qualität und Ausmaß wesentlich von dem, was in dieser Hinsicht von den höheren Säugetieren und Primaten bekannt ist. Obwohl bei den Tieren vergleichbare funktionelle Asymmetrien fehlen, sind in aufwendigen Studien an Rhesusäffchen nach Balken und Chiasma Durchtrennungen Hemisphärenspezialisierungen für bestimmte visuelle Diskriminationsleistungen demonstriert worden. Selbst morphologische Unterschiede zwischen den Hemisphären zugunsten der linken Hemisphäre wurde bei Affen beschrieben (Yeni-Komshian & Benson 1976, [58], Lemay & Geschwind 1975, [59]). Solche Befunde erscheinen angesichts der offensichtlichen und kennzeichnenden menschlichen funktionellen Asymmetrien jedoch vernachlässigbar gering. In Bezug auf die motorische Lateralität bei Affen und Menschenaffen kommt Lehman (1993, [60], S. 171 ff.) zusammenfassend zu folgenden Schlüssen:



(1) "Voluntary hand usage is usually asymmetric, with one hand playing a leading role and the other a subordinate one. This distinction is less clear for multicomponent tasks." (2) "Handpreference appears to be a reproducible phenomenon at the level of the individual (within-tasks / within-individuals and across-some-tasks / within-individuals) but weakly, if at all, at the population level (within- or across-tasks / across-individuals)." (3) "There is probably little, if any similarity between the cerebral organization responsible for hand preference in monkeys and the hemispheric specialization of the human population. Data from studies of apes is limited but seems similar to that of monkeys."

Die Ausbildung funktioneller zerebraler Asymmetrien des menschlichen Gehirns wird daher von einigen Autoren als ein human- bzw. artspezifisches Merkmal betrachtet, ähnlich wie der aufrechte Gang und die Sprache. Händigkeit, aufrechter Gang und Sprache scheinen jedoch nicht unabhängig voneinander zu sein, sondern haben einige gemeinsame Einflussfaktoren.

Unter der Annahme, dass die oben dargestellten früh entstehenden makroskopischen und zytoarchitektonischen Unterschiede zwischen den beiden Hemisphären die Ansiedelung unterschiedlicher Funktionen begünstigt, wären die lateralisierten Hirnfunktionen und auch die Händigkeit durch die morphologischen Asymmetrien vorgebahnt (Geschwind & Galaburda 1987, [57], Corballis 1991, [61], Hines & Gorski 1985, [62]). Auf diese strukturell "vorbereiteten" Hemisphären treffen im Entwicklungsverlauf zwei weitere lateralisierende Prozesse:

(1) Die asymmetrische Position des Kindes im letzten Drittel der Schwangerschaft. Sie bewirkt eine asymmetrische Beschleunigungs- Stimulation des Fetus und führt

zu einer vestibulären Asymmetrie zugunsten der linken Seite, aus der sich später die Rechtshändigkeit entwickelt (Previc 1991, [63]).

(2) Die zunehmende Balkenreifung im Kindes- und Jugendalter verbessert die interhemisphärische Kommunikation und ermöglicht so die arbeitsteilige Interaktion und die weitere seitendifferente Spezialisierung der Hemisphären (Cook 1986, [64]).

Die dargestellten Einflussgrößen schließen sich gegenseitig am Zustandekommen lateralisierter Hirnfunktionen nicht aus, sondern sie können als Teilkomponenten verstanden werden, die sich während bestimmter Zeitfenster der ontogenetischen Entwicklung etablieren und mit den nachfolgenden Entwicklungsabschnitten interagieren.

## D.2 Entwicklung der motorischen Lateralität

### D.2.1 Asymmetrie der intrauterinen Position

Die Theorie der intrauterinen Lage von Previc (1991, [63]) führt die Ursprünge der motorischen Lateralisierung (Händigkeit) auf eine asymmetrische intrauterine vestibuläre Stimulationserfahrung zurück. Sie entsteht einerseits durch die relativ einheitliche intrauterine Kopfposition der Feten im letzten Drittel der Schwangerschaft und andererseits aus der Rezeptorenverteilung im Vestibularorgan (macula utriculi). Aus der Tatsache, daß mehr als 2/3 aller Kinder ab etwa der 30. Schwangerschaftswoche kopfunter und mit dem rechten Ohr nach außen positioniert sind, ergeben sich erhebliche asymmetrische Stimulationen für das linke (innenliegende) Vestibularorgan durch die Bewegungen der Mutter beim Gehen. Zum Zeitpunkt vor der Geburt sind bereits 94% aller Kinder mit dem Kopf nach unten und mit dem rechten Ohr nach außen positioniert, woraus dann die regelrechte vordere Hinterhauptslage als Geburtseinstellung resultiert (Abbildung D-1).

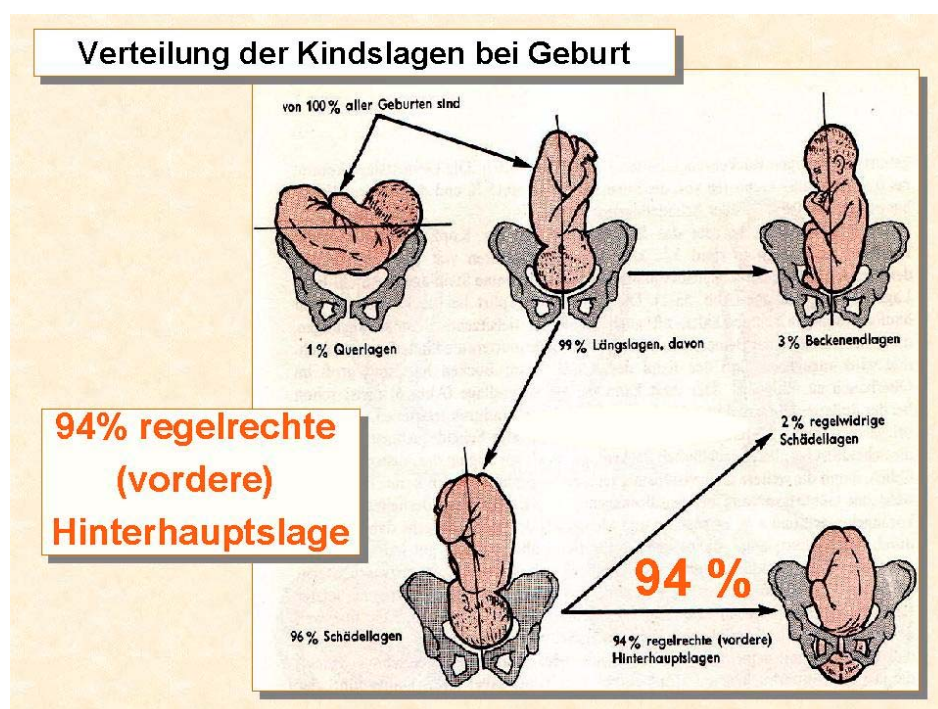


Abbildung D-1 Verteilung der Kindslagen bei Geburt

Abbildung D-1 Kindslagen bei Geburt, Abb. modifiziert nach Biliographisches Institut Mannheim (1984, [65]), S. 307.

Die Verteilung der Geburtslagen ist entsprechend asymmetrisch. Erzwungen wird die intrauterine Position letztlich durch den aufrechten Gang des Menschen bzw. der schwangeren Frau und der asymmetrischen Organanordnungen im unteren Bauchraum der Frau. Durch den aufrechten Gang wird die intrauterine Position und dadurch die intrauterine Erfahrung wesentlich mitbestimmt.

### D.2.2 Vestibuläre Stimulation durch den aufrechten Gang

Aufgrund der archäologischen Funde von versteinerten Fusspuren in Laetoli (Ost-Afrika) wird geschätzt, dass es den aufrechten Gang der Hominiden mindestens schon seit 3,6 Millionen Jahren gibt (Agnew & Demas 1999, [66]). Er definiert die Kopfunter-Position und die Einstellung bzw. die Fixation des Feten im Becken. Previc (1991, [63]) sieht im Übergang zum aufrechten Gang den wichtigsten Einzelfaktor, der zur Entwicklung der motorischen Lateralität beim Menschen geführt habe (Abbildung D-2).

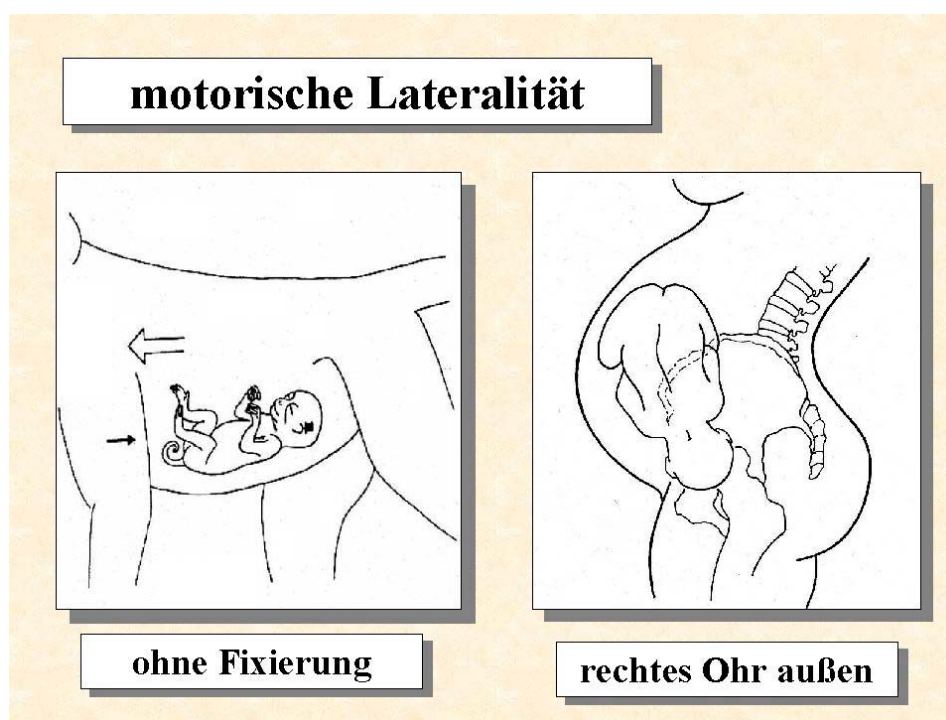


Abbildung D-2 Fixierung im letzten Drittel der Schwangerschaft

Abbildung D-2 Durch den aufrechten Gang wird beim Menschen im letzten Drittel der Schwangerschaft eine nahezu einheitliche und fixierte Position erzwungen, die eine der Voraussetzungen für eine einheitliche asymmetrische intrauterine vestibuläre Stimulationserfahrung darstellt (Abb. modifiziert nach Previc 1991 und Hellige 1993, [67]).

Der aufrechte menschliche Gang weist in der Vorwärtsbewegung eine deutliche Asymmetrie hinsichtlich der kurzen, abrupten Verzögerungsphasen nach dem Aufsetzen der Ferse und den anschließenden länger anhaltenden Beschleunigungsphasen auf (Abbildung D-3). Für das Kind in der intrauterinen Standardposition wirkt sich dieses Gang-Muster der Mutter bei jedem Schritt als schneller, stoßartiger Puls nach links und eine allmähliche, langsamere Rückstellbewegung nach rechts aus. Durch den asymmetrischen Impuls von Verzögerung und Beschleunigung wird das Organ für die Wahrnehmung von horizontalen Beschleunigungen - die macula utriculi - asymmetrisch angesprochen.

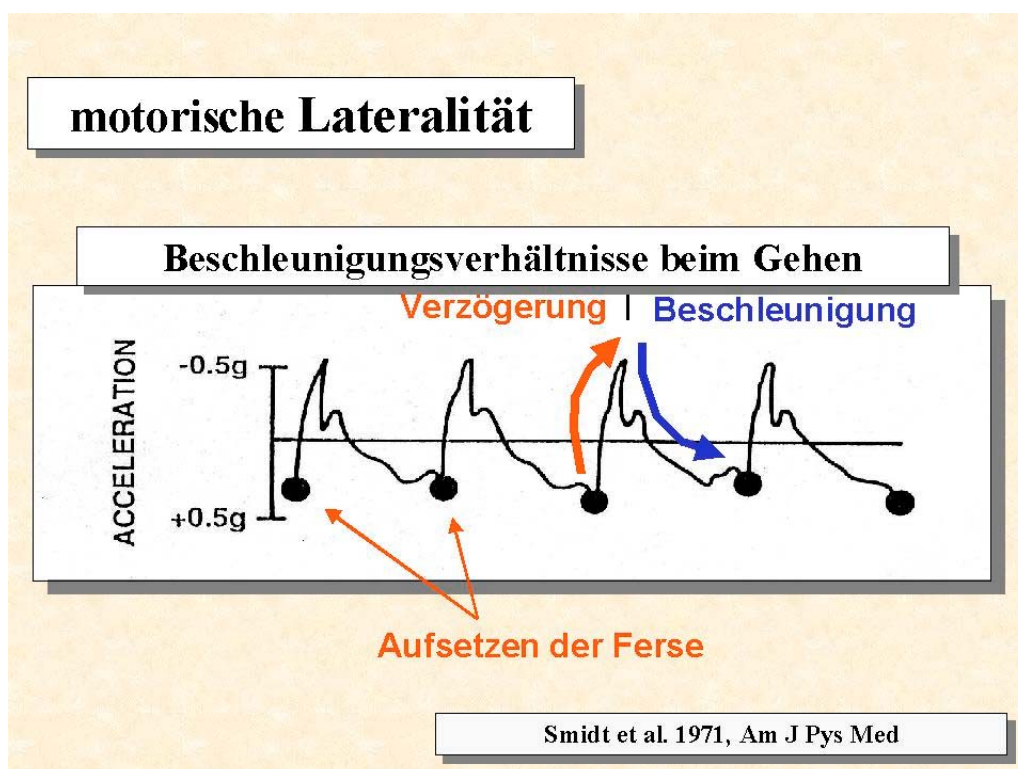


Abbildung D-3 Beschleunigungsverhältnisse beim Gehen

Abbildung D-3 Mit dem Aufsetzen der Ferse wird eine Stemmphase eingeleitet, die das Becken anhebt und die Vorwärtsbewegung abrupt verzögert. Verzögerungsphase und Beschleunigungsphase sind asymmetrisch. Abbildung modifiziert nach Previc (1991, [63]).

Die linke Macula utriculus weist für die horizontale Beschleunigungsrichtung "nach links" eine um ca. 50% größere Rezeptorenfläche auf, als die entsprechende Rezeptorenfläche für diese Beschleunigungsrichtung auf der rechten Seite. Das linke

Organ wird dadurch stärker stimuliert und bildet sich sensitiver aus und bildet so zunächst eine differenziertere ipsilaterale linksseitige Kontrolle der proximalen Muskulatur aus (Abbildung D-4). Zuerst etablieren sich asymmetrische Stellreflexe gegen die Schwerkraft auf der ipsilateralen linken Seite. Anti-Schwerkraftreflexe sind daher beim Rechtshänder linksseitig stärker ausgeprägt, was funktionell zur Übernahme von linksseitigen Stützfunktionen führt (Standbein, Absprungbein). Aus der differenzierteren ipsilateralen linksseitigen Kontrolle entwickelt sich dann mit zunehmender Reifung der gekreuzten Bahnen für die distale Bewegungskontrolle die Rechtshändigkeit.

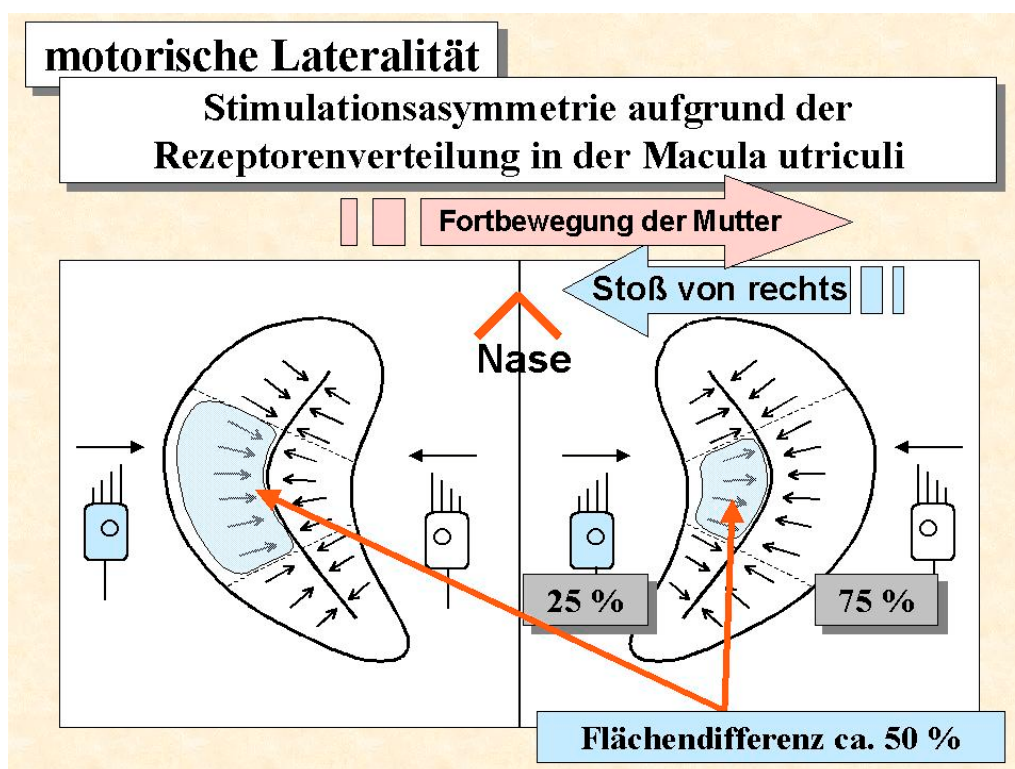


Abbildung D-4 Schematische Darstellung der macula utriculi des Kindes.

Abbildung D-4 Zusammenfassung der Theorie der asymmetrischen vestibulären Stimulation nach Previc (1991, [63]). Darstellung eines axialen Schnittes auf der Ebene der macula utriculi des Kindes; Sicht von cranial und unten. Die schwarzen Pfeile innerhalb des Organs zeigen die Richtung der kritischen Auslenkung der Kinozilien an. Die Sinneszellen sprechen an, wenn die Auslenkung in Richtung der längeren Kinozilie erfolgt. Die Kinozilien sind in eine gallertartige Masse eingebettet, die bei einer horizontalen Beschleunigung des Kopfes träge zurückbleibt. Sie werden daher stets entgegen der Beschleunigungsrichtung ausgelenkt. Bei einem Stoß von rechts sprechen im linken Organ die außenliegenden Rezeptoren an und im rechten Organ die innenliegenden. Bei gleichbleibender Position des Kindes kommt es durch das Gehen der Mutter und der Rezeptorenverteilung zu einer asymmetrischen Beschleunigungserfahrung, bei der das linksseitige Organ vermehrt stimuliert wird.



### **D.2.3 Rechtshänder und Non-Dextrals**

Die von Previc dargestellte Konzeption der Händigkeit beinhaltet implizit die strukturelle Verschiedenheit von Rechtshändigkeit und Linkshändigkeit, die sich auch konstant bei Untersuchungen der manifesten Händigkeit zeigt (Händigkeitsfragebögen, Oldfield 1971, [43]). Linkshänder sind wesentlich heterogener in ihrem Handgebrauch als Rechtshänder. Linkshänder sind daher keine seitenvertauschten Rechtshänder. Die Vorstellungen gehen dahin, dass sie eine Personengruppe darstellen, bei der die intrauterine Bewegungsstimulation fehlt oder nur gering ausgeprägt ist. Bei ihnen bilden sich, ähnlich wie bei den Primaten Handbevorzugungen habituell, d. h. aufgrund der individuellen extrauterinen Lerngeschichte aus. Solche Personen können auf der Oberfläche als schwach ausgeprägte Rechtshänder, Ambidexter oder Linkshänder erscheinen. Die geringe Homogenität zwischen den einzelnen Handbevorzugungen kennzeichnen dabei den qualitativen Unterschied zur Rechtshändigkeit. Um diesem Sachverhalt Rechnung zu tragen, wird diese Personengruppe in der Literatur zunehmend als "Non-Dextrals" bezeichnet.

### **D.2.4 Zusammenfassung: Entwicklung der motorischen Lateralität**

Die Theorie Previc's kann mehrere Phänomene der motorischen Asymmetrien gut erklären und entkoppelt sie weitgehend von den morphologischen zerebralen Asymmetrien. Sie macht verständlich, warum Anti-Schwerkraft-Reflexe beim Rechtshänder linksseitig stärker ausgeprägt sind. Warum zahlreiche Rechtshänder die Stützfunktionen, z. B. Abspringen beim Weitsprung, mit dem linken Fuß ausführen. Es wird einsichtig, warum Rechtshänder auf freien Flächen mit geschlossenen Augen in Spiralen nach rechts gehen (Abbildung D-5). Hierzu können stärkere linksseitige Stützkkräfte und vestibuläre Asymmetrien beitragen. Eine weitere bekannte Folge der intrauterinen Position ist der asymmetrische tonische Nackenreflex von Neugeborenen.

In einem engen Zusammenhang mit der motorischen Lateralisierung sehen einige Autoren die Drehtendenzen, die bei gesunden Probanden zur Darstellung kommen, wenn sie mit geschlossenen Augen auf der Stelle treten. Dieses vestibuläre Untersuchungsverfahren wurde von Unterberger (1939, [68]) eingeführt und wird als Unterberger Tretversuch bezeichnet (UT). In der Studie D.6 sollen die Beziehungen zwischen den dichotischen Hörtests, der Händigkeit und der Drehtendenz im UT analysiert werden.

Die Ursachen für das Fehlen der spezifischen intrauterinen asymmetrischen Stimulationserfahrung kann nach Previc's Theorie wiederum in fetalen oder maternalen Faktoren oder in Interaktionen dieser Faktoren liegen. Bei einem geringen Kopfwachstum des Feten würde z. B. die fixierte Einstellung des Kopfes im Becken erst relativ spät erfolgen und entsprechend würde sich dadurch die vestibuläre Prägungsperiode bis zur Geburt verkürzen.

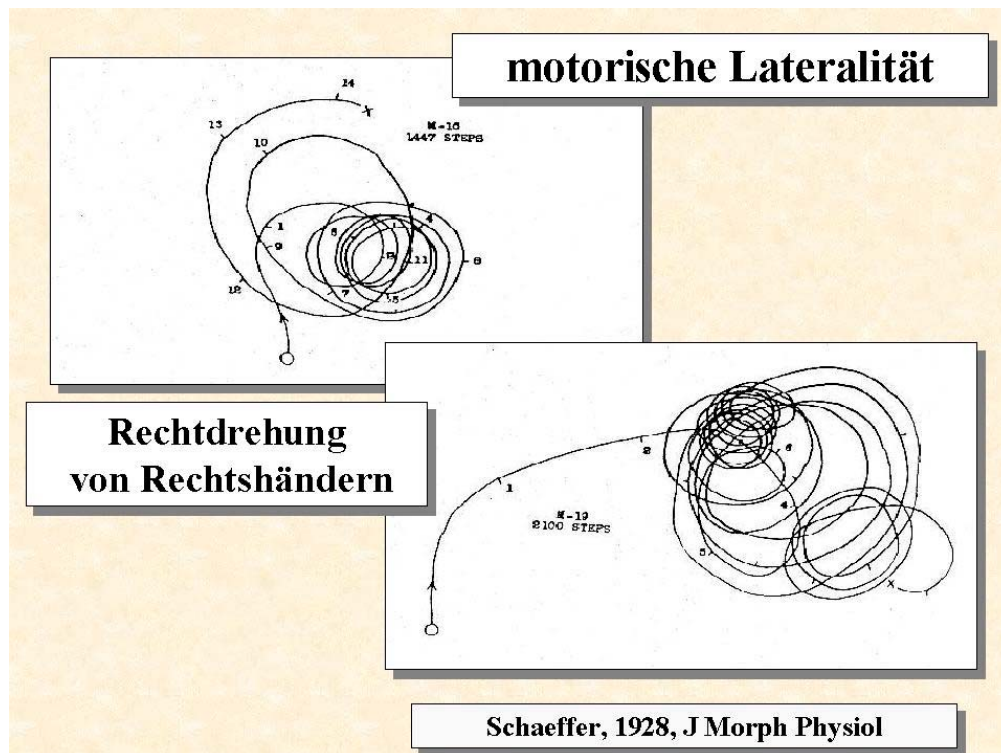


Abbildung D-5 Motorische Rechtswendigkeit von Rechtshändern

Abbildung D-5 Rechtshänder drehen beim Geradeausgehen auf ebenen Flächen ohne visuelle oder auditive Orientierung nach rechts (Schaeffer 1928, zitiert nach Previc 1991, [63]).

Ähnliche Auswirkungen wären bei Mehrlingsschwangerschaften, Frühgeburtlichkeit und mütterlichem Bewegungsmangel zu erwarten, z. B. beim wochenlangen Liegen der Schwangeren bei Frühgeburtsbestrebungen. Sämtliche genannten Komplikationen sind mit einer erhöhten Rate von Non-Dextralität verknüpft, da sie geeignet sind, die spezifische asymmetrische vestibuläre Stimulationserfahrung zu stören oder zu



verhindern. Previc's Theorie ist konsistent mit der Beobachtung von erhöhten Raten von Non-Dextralität nach Schwangerschafts- und Geburtskomplikationen (Coren & Searleman 1990, [69]). Die Theorie der asymmetrischen intrauterinen vestibulären Stimulation stellt eine spezifische intrauterine Erfahrung als einen epigenetischen Faktor für die Entwicklung der motorischen Lateralität in den Mittelpunkt. Dieser Faktor ist ein Kandidat dafür, die immer noch ungeklärten Ursachen der motorischen Lateralität zu begründen.

### **D.3 Entwicklung der Sprachlateralität**

In Reihenuntersuchungen an großen Populationen zeigt sich konstant eine sensorische Überlegenheit des rechten Ohres für Sinus-Töne im Bereich von 1000-6000 Hz um ca. 3 db, die bei Männern deutlicher ausgeprägt ist als bei Frauen. Previc (1991, [63]) nimmt an, dass sich die Sprachlateralisierung getrennt von der motorischen Lateralität aufgrund dieser sensorischen Asymmetrie entwickle. Diese gehe wiederum auf ein beschleunigtes Wachstum der linken Körperseite im cranio-fazialen Bereich im ersten Drittel der Schwangerschaft zurück. Die erhöhte linksseitige Wachstumsgeschwindigkeit des Gesichtsschädels zeige sich auch im Überwiegen kranio-fazialer Fehlbildungen der linken Seite, z. B. bei unilateralen Spaltbildungen, die überwiegend links vorkommen, ebenso wie bei mandibuläre Bewegungseinschränkungen. Diese Entwicklungsasymmetrie führe zu einer verminderten Übertragungsleistung des linken (Mittel-) Ohres. Durch die sensorische Überlegenheit des rechten Ohres wird die Sprachlateralisation der linken Hemisphäre über die stärkere kontralaterale Hörbahn vorbereitet.

Der menschliche Fötus beginnt ab der 20.-23. Schwangerschaftswoche auf akustische Stimuli mit einer Zunahme der Herzfrequenz und Bewegungsaktivität zu reagieren. Analysen der intrauterinen Schall-Übertragungswege legen jedoch nahe, dass es hauptsächlich die Knochenleitung sei - und nicht das Mittelohr - , über die der Schall auf das Innenohr des Fötus übertragen wird (Sohmer & Freeman 2001, [70], Gerhard & Abrahams 1996, [71]). Während tiefe Frequenzen unter 500 Hz durch Gewebe und Fruchtwasser nur um ca. 5 dB abgeschwächt werden, ist die Dämpfung höherer Frequenzen wesentlich stärker, so dass sie intrauterin kaum wahrzunehmen sind (über 500 Hz um 20-30 dB). Sprachaufnahmen aus dem Uterus trächtiger Schafe, die man anschließend Versuchspersonen zur phonematischen Beurteilung vorspielte zeigten, dass der Laut-Kontrast stimmhaft / stimmlos besser erkannt wurde, als alle anderen phonetischen Merkmale. Die Verständlichkeit einer männlichen Stimme war besser als die einer weiblichen.

Darüberhinaus liegt das rechte, sensitivere Ohr im letzten Drittel der Schwangerschaft meist außen und ist so zusätzlich einer differenzierteren auditiven Stimulation

zugänglich. Einige Autoren sehen in der statistischen Assoziation von Sprachlateralisierung und Händigkeit den Ausdruck dafür, dass die sprachliche Spezialisierung der linken Hemisphäre weniger darauf beruhe, dass die Symbol-Funktionen asymmetrisch seien, als vielmehr, dass die linke Hemisphäre generell für bestimmte motorische und zeitlich strukturierte Fertigkeiten Verarbeitungsvorteile aufweise (Springer & Deutsch 1998 S. 270, [72]).

### **D.3.1 Entwicklung der interhemisphärischen Kommunikation**

Ähnlich wie die unterschiedliche Hemisphärenreifung insgesamt beeinflusst die Balkenreifung die interhemisphärische Kommunikation (Cook 1986, [64], Corballis 1991, [61]). Alle pränatal angelegten funktionellen Asymmetrien werden postnatal durch die lang anhaltende Balkenreifung akzentuiert und stabilisiert. Wiederholte MRT-Untersuchungen im Abstand von 2 Jahren zeigen, dass die Entwicklung der neuropsychologischen Funktionen bis in das frühe Erwachsenenalter noch von einer Zunahme der Myelinisierung der Kommissurfasern und entsprechend von einer Zunahme der Querschnittsfläche des Balkens (Corpus Callosum, CC) begleitet wird (Pujol et al. 1993, [73]). Als die wahrscheinlichste Interaktionsform der Hemisphären wird die spezifische homotopische callosale Inhibition betrachtet, die eine zweifache Inversion der neuronalen Aktivitätsmuster beinhaltet: eine Klappung der räumlichen Anordnung und eine Hemmung dieser Anordnung auf der projizierten Seite (Cook 1986, Abbildung D-6, [64]).

Nimmt man an, dass zwischen benachbarten Kortexpunkten eine Ähnlichkeit in der Funktion bestünde, so führt diese Form der Hemmung dazu, dass ein gerade aktives ipsilaterales Netzwerk mit einem ähnlichen - aber nicht identischen - der kontralateralen Seite interagieren kann. Die kontralaterale Seite bietet auf diese Weise einen Kontext an, von dem sich die Aktivität der ipsilateralen Seite abhebt wie eine Figur von ihrem Hintergrund.

Eine verzögerte Ausbildung der interhemisphärischen Kommunikation während der Entwicklung kann zu einer vermehrten Parallelentwicklung von Funktionen in beiden Hemisphären führen und so zu einem geringen Lateralisierungsgrad beitragen. Die Arbeitsteilung der beiden Hemisphären erfordert interhemisphärische Kommunikati-

on, für die die Balkenreifung die physiologische Voraussetzung darstellt. Ähnlich wie in der Beziehung zwischen asymmetrischen morphologischen Befunden der Hemisphären und den funktionellen Asymmetrien gibt es jedoch auch beim Rückschluß von der Morphologie des CC auf die Funktion widersprüchliche Befunde.

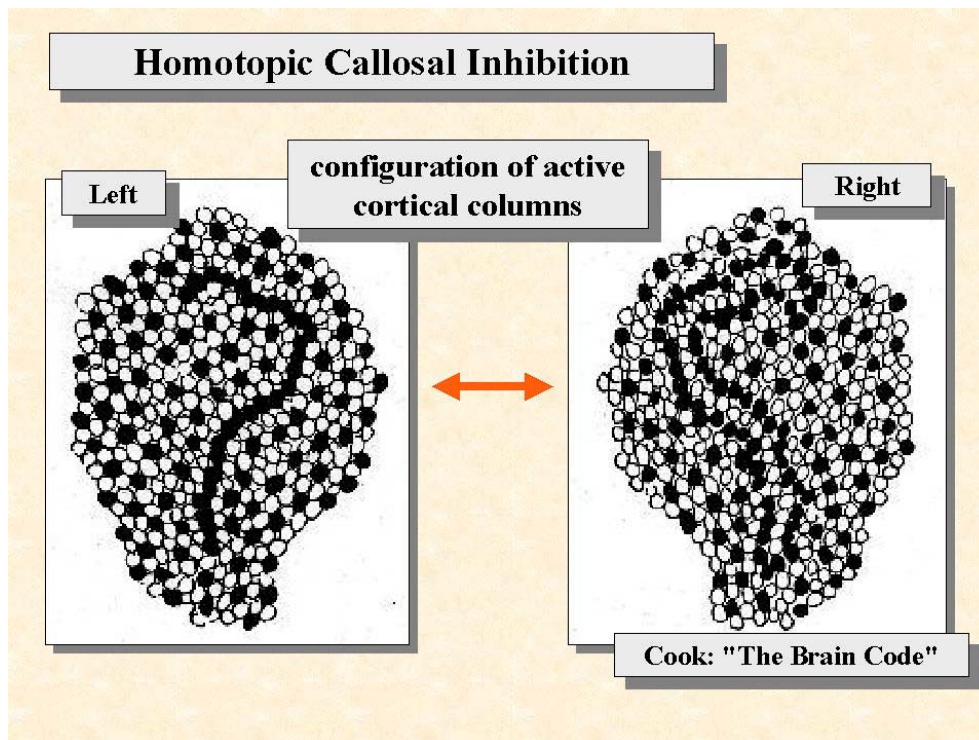


Abbildung D-6 Schema der homotopischen callosalen Inhibition.

Abbildung D-6 Schema der homotopischen callosalen Inhibition. Auf der kontralateralen Seite erscheint das Aktivitätsmuster als räumlich geklappte Inhibition (Cook 1986).

So zeigten Patienten mit CC Agenesie Lateralisierungsverhältnisse in der Hemisphären-Morphologie und Funktion, die denen der Menschen mit einem CC entsprechen (Lassonde & Jeeves 1994, [74]). Eine wesentlich andere Situation liegt vor, wenn erst nach Abschluß der Lateralisierungsentwicklung Läsionen der Balkenfasern auftreten (split-brain). Das dichotische Hören wird von solchen Läsionen massiv beeinflusst; es führt bei linkshemisphärischer Sprachdominanz zu einem annähernd vollständigen Verlust der Links-Ohr-Antworten, bzw. zu einem ausschließlichen Rechts-Ohr-Vorteil.

### D.3.2 Zusammenfassung

Motorische Lateralität (Händigkeit) und die Sprachlateralisierung haben in Previc's Theorie unterschiedliche Ursprünge. Bei verminderter (Schritt-) motorischer Aktivität der Mutter kann daher selbst bei regelrechter Kindslage die asymmetrische vestibulä

re Prägung fehlen oder vermindert sein und hinsichtlich der Händigkeit zu Non-Dextralität (nicht-Rechthändigkeit, Linkshändigkeit oder Beidhändigkeit) führen. Wegen der veränderten linksseitigen kranio-fazialen Entwicklung und wegen des außenliegenden rechten Ohres, kann sich die übliche Sprachdominanz der linken Hemisphäre trotzdem ausbilden. So haben die meisten Linkshänder und Ambidexter ebenfalls eine linkshemisphärische Sprachdominanz. Der Anteil bilateraler Sprachrepräsentationen bei Non-Dextrals ist aber um etwa das 5-fache gegenüber den Rechtshändern erhöht.

Wegen ihrer gemeinsamen Herkunft aus der asymmetrischen vestibulären Stimulation sollte zwischen der Händigkeit und den Rotationstendenzen eine Korrelation bestehen.

## **D.4 Diagnostik der motorischen Lateralität**

Wie schon eingangs in der Theorie von Previc unter D.2.3 dargelegt, sollte die motorische Lateralität von Hand und Bein bezüglich der (Anti-Schwerkraft-) Stützfunktion eher gegensätzlich sein und daher wenig Konkordanz aufweisen. Reiß & Reiß (1998, [75]) berichteten hierzu eine mittlere Korrelation von  $r=0.48$ . Bei koordinativen Aufgaben dagegen sind höhere Übereinstimmung von "Füßigkeit" und Händigkeit berichtet worden (vgl. Springer & Deutsch, 1998, [72]). Hinsichtlich der Verknüpfung mit der Sprachlateralisation hat sich die Erfassung der manifesten Händigkeit als allgemeiner Standard durchgesetzt, die durch Fragebögen oder durch direkte Verhaltensbeobachtung ermittelt wird.

### **D.4.1 Händigkeit in Fragebögen**

Durch Erhebungen an großen Stichproben wurde deutlich, welche unterschiedlichen Verteilungen "Linkshändigkeit" und "Rechtshändigkeit" in Händigkeitsfragebögen aufweisen, die meistens unimanuelle Aktivitäten in ihrem Grad der Bevorzugung abfragen (z. B. Schreiben, Werfen, Zähneputzen usw.). Während die Organisationsform der Rechtshändigkeit eine Tendenz aufweist, sich auf alle handmotorischen Aktivitäten auszudehnen, so findet sich dieses Merkmal bei der Linkshändigkeit nicht. Rechtshändigkeit hat ihren Verteilungsgipfel am Pol der maximalen Rechtshändigkeit, während Linkshändigkeit eher durch eine Gleichverteilung der Präferenzen für einzelne handmotorische Aktivitäten gekennzeichnet ist (Abbildung D-7, S. 78). Das bekannteste Verfahren zur Erfassung der manifesten Händigkeit ist das Edinburgh-Handness-Inventory (EHI) von Oldfield (1971, [43]) mit 10 Items und maximal 20 Punkten, die sich auf die beiden Hände verteilen (Anhang H-09). Aus den Punkten für jede Hand wird ein Lateralitätsquotient (LQ) errechnet, der zwischen +100 (ausschließliche Rechtshändigkeit) und -100 (ausschließliche Linkshändigkeit) liegen kann. Händigkeit wird durch diesen Quotienten als eine kontinuierliche Eigenschaft repräsentiert, die abgestufte Ausprägungen zwischen ausschließlicher Rechts- und Linkshändigkeit annehmen kann. Dem LQ kann ein Prozentrang innerhalb der Rechtshänderpopulation zugeordnet werden, der es erlaubt, eine populationsorientierte Grenze zwischen "Dextrals" und "Non-dextrals" zu ziehen. Wo dabei die Grenze gezogen wird, ist häufig eine relativ willkürliche Entscheidung (Springer & Deutsch, 1998, [72]).

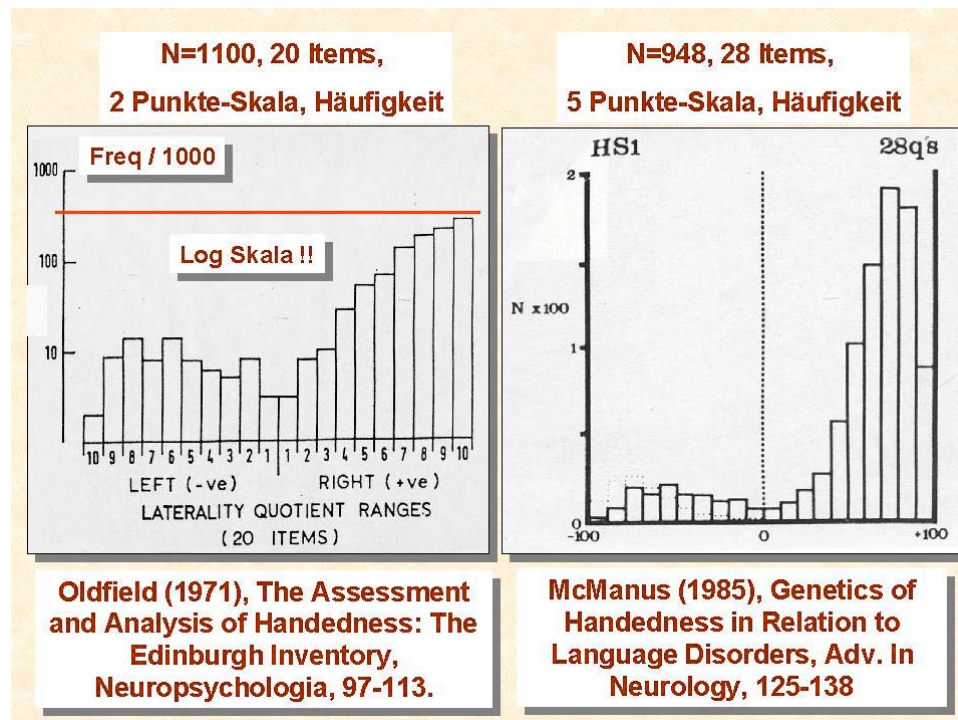


Abbildung D-7 Verteilungsformen der Handbevorzugung

Abbildung D-7 Die Verteilungsformen aus den Untersuchungen von Oldfield (1971) und McManus (1985) zeigen deutlich die Kumulationstendenz der rechten Handpräferenz, während die linke Handpräferenz eher eine Gleichverteilung aufweist.

Aus methodischen Gründen wird die Oldfield-Bewertung mit Korrekturen versehen und in den sogenannten Bryden-Score transformiert (Anhang H-09, S. 134).

#### D.4.2 Händigkeit durch Verhaltensbeobachtung

Auch bei der direkten Verhaltensbeobachtung gibt es große Unterschiede, welche Tätigkeiten der Proband zur Beurteilung ausführen muss. Dies reicht von der einfachen Erfassung der Schreibhand bis zu Testbatterien mit mehreren Aufgaben, wie Zeichnen, Nähen, Hämmern usw. (z. B. Reiß & Reiß, 1997, [76]). In manchen Studien wird zusätzlich die familiäre Linkshändigkeit erfasst. Meist geht es dabei um Eltern und Geschwister, nach deren Handpräferenz gefragt wird. Auch hier gibt es unterschiedliche Kriterien, welche Personen einbezogen werden und ab welcher Anzahl von Personen in der Familie von einer familiären Häufung gesprochen wird (Springer & Deutsch, 1998, [72]).

## **D.5 Referenzuntersuchung an N=68 männlichen Rechtshändern**

### **D.5.1 Problemstellung**

In der Literatur findet sich eine gut etablierte statistische Assoziation zwischen der Sprachlateralisierung und der motorischen Lateralisierung, die aber aus den unter D.2 dargelegte Gründen nicht als eine einfache (mono-) kausale Beziehung interpretiert werden kann. Bei einer Metanalyse von 18 Studien mit verschiedenen verbal-dichotischen Methoden, in denen die Ohrvorteile von Links- und Rechtshändern miteinander verglichen wurden, gab es nur eine Studie, bei der die Linkshänder den größeren ROV hatten (Bryden 1988, [35]). Um individualdiagnostische Referenzdaten zu erhalten, wurde die Itemserie FW10b mit einer größeren Gruppe von gesunden rechtshändigen Versuchspersonen durchgeführt. Für die z-Lambda Werte sollen daraus Grenzen für die Sprachlateralisierungskategorien links, rechts und bilateral ermittelt werden.

### **D.5.2 Hypothesen**

Hypothese D.5-1 Händigkeit und Sprachlateralisierung

**H0:** In der rechtshändigen Untersuchungsgruppe ( $EHI_{LQ}$  mindestens +60) lässt sich eine linksseitiger Sprachlateralisierung durch die Serie FW10b nicht nachweisen.

**H1:** In der rechtshändigen Untersuchungsgruppe ( $EHI_{LQ}$  mindestens +60) lässt sich ein signifikant erhöhter Anteil linksseitiger Sprachlateralisierung durch die Serie FW10b nachweisen.

### **D.5.3 Methoden**

#### **D.5.3.1 Versuchspersonen**

In der computerisierten Form wurde die Itemserie FW10b einer Gruppe von N=68 männlichen Rechtshändern im Alter von 26,59 +/- 8,56 Jahren dargeboten. Untersucht wurden insgesamt 73 Bundeswehrangehörige, die sich wegen geringer Beschwerden im Bundeswehrkrankenhaus Berlin auf einer psychiatrischen Station auf



hielten. Keiner der Probanden hatte in der Vergangenheit oder aktuell eine psychiatrische Erkrankung. Die stationären Aufnahmegründe waren reaktive depressive Verstimmungen, soziale Konflikte, Heimweh und sog. Wehrunwilligkeit. Alle Probanden hatten Deutsch als Muttersprache. Bei keinem bestanden in der Vorgeschichte zerebrale Erkrankungen oder Hörstörungen.

### D.5.3.2 Manifeste Händigkeit im EHI

Für diese Dichotomisierung der Händigkeit wurde die Untergrenze für Rechtshändigkeit bei  $LQ=+60$  gezogen, dies entspricht im EHI mindestens 16 von 20 möglichen Rechts-Hand-Punkten ( $LQ = 100 \times (16R-4L)/(16R+4L) = 100 \times 12/20 = 60$ , Tabelle D-1). Die hier gezogene Untergrenze anhand des  $LQ \geq 60$  entspricht etwa der 20. Perzentile, d. h. ca. 80% der Rechtshänder haben höchstens 4 oder weniger Linkshand-Punkte (vergl. Anhang H-08, S. 133. 5 der 73 Probanden wurden ausgeschlossen, da sie im EHI einen zu hohen Anteil von linkshändigen Aktivitäten aufwiesen. Alle übrigen N=68 Probanden hatten zusätzlich zum mindest  $EHI_{LQ}$  von 60 als spontane initiale Schreibhand die rechte Hand.

Tabelle D-1 Verteilung der Rechtshandpunkte im EHI der N=68 Rechtshänder

EHI				
ReHa Pkt.	N	%	LQ	RH, % Rang
20	46	68%	100	100
19	4	6%	90	70
18	12	17%	80	50
17	2	3%	70	30
16	4	6%	60	20
	<b>68</b>	<b>100</b>		

### D.5.3.3 Familiäre und latente Linkshändigkeit, Soft-Signs

Probanden mit familiärer Linkshändigkeit in der Primärfamilie wurden nicht ausgeschlossen - vorausgesetzt, sie haben das Kriterium für die manifeste Rechtshändigkeit erreicht. Insgesamt berichteten 8 Probanden, dass sie Linkshänder in ihrer Familie hatten (3 Mutter, 2 Vater, 3 Geschwister). Es wurden weitere Soft-Signs für latente Linkshändigkeit erhoben, so der obenliegende Daumen beim Händefalten und die obere bewegte Hand beim Händeklatschen. Hier zeigten sich in der Gruppe eher erhöhte Werte für die Muster, die im allgemeinen nicht mit Rechtshändigkeit assoziiert sind. Bei 35 Probanden (52%) lag - wie bei den meisten Rechtshändern beim Händefalten der Daumen der linken Hand oben. 23 Probanden (34%) klatschten mit der

rechten Hand in die linke Hand (= rechts bewegt und oben), 9 Probanden (13%) klatschten mit der linken in die rechte Hand (= links bewegt und oben) und ein Anteil von mehr als der Hälfte (N=36, 53%) gab keine Asymmetrie beim Händeklatschen an, ein Anteil der für eine Rechtshändergruppe unerwartet hoch erscheint.

## D.5.4 Ergebnisse

### D.5.4.1 Ergebnisse 1: Deskriptive Vergleichsdaten

Die Ergebnisse zeigen den erwarteten Vorteil für das rechte Ohr, jedoch wird auch der hohe Anteil von Stimulus-Dominanz deutlich (Tabelle D-2).

Tabelle D-2 Deskriptive Vergleichsdaten, männliche Rechtshänder, N=68, FW10b

Variable	N	Mittelw.	Stdabw.	Min	Max
Alter	68	26,59	8,56	18,00	59,00
EHI-Punkte rechte Hand	68	0,74	1,20	0,00	4,00
EHI-Punkte linke Hand	68	19,26	1,20	16,00	20,00
$\text{Lambda} = \log(\text{Rop/Lop}), \text{Se of Mean} = 0,199206$	68	1,06	1,64	-3,26	4,04
Diff = ROP - Lop	68	7,34	13,03	-26,00	57,00
LOP FW10b	68	4,99	6,03	0,00	27,00
ROP FW10b	68	12,32	10,03	0,00	57,00
SD-R Stimulus Dominanz	68	32,72	12,27	2,00	59,00
SD-L Stimulus Dominanz	68	28,91	11,68	3,00	63,00
Fehler-dichotisch	68	1,06	2,41	0,00	13,00
Fehler-mono-li	68	2,18	1,88	0,00	10,00
Fehler-mono-re	68	1,57	1,47	0,00	5,00

Tabelle D-2 Der Standardfehler des Mittelwertes (Se) von Lambda betrug 0,199206. Dieser Wert wird herangezogen, um über  $z\lambda$  die Grenzen für die Sprach-Lateralisierungskategorien links, bilateral und rechts festzulegen.

Die Fehlerrate bei der dichotischen Darbietung war mit 1,3 % ( $=1,06 / 80$ ) ähnlich gering wie in den Voruntersuchungen. Auch bei der vorausgehenden monauralen Darbietung der Wörter war die Worterkennung auf dem rechten Ohr besser bzw. die Fehlerrate links gegenüber rechts erhöht. In der vorliegenden Studie ist jedoch nicht klar, ob es sich bei den angegebenen Fehlern tatsächlich um Wort-Erkennungsfehler oder um Fehler, die mit der Bedienung der Tastatur bzw. einem fehlerhaften Umgang mit den einzugebenden Zahlen handelt (z. B. Verwechslung von 6 mit 9 oder von 1 mit 7). Der Proband mit der Maximalzahl von 10 Fehler bei monauraler Darbietung der Wörter auf dem linken Ohr hatte auch 4 Fehler bei monauraler Darbietung auf dem rechten Ohr, und 4 Fehler bei dichotischer Darbietung (4 von 160). Er zeigte

also eine generell erhöhte Fehlerzahl, die sich nicht einfach einer Seite und damit einer bisher unbekannten unilateralen Hörstörungen zuordnen ließ.

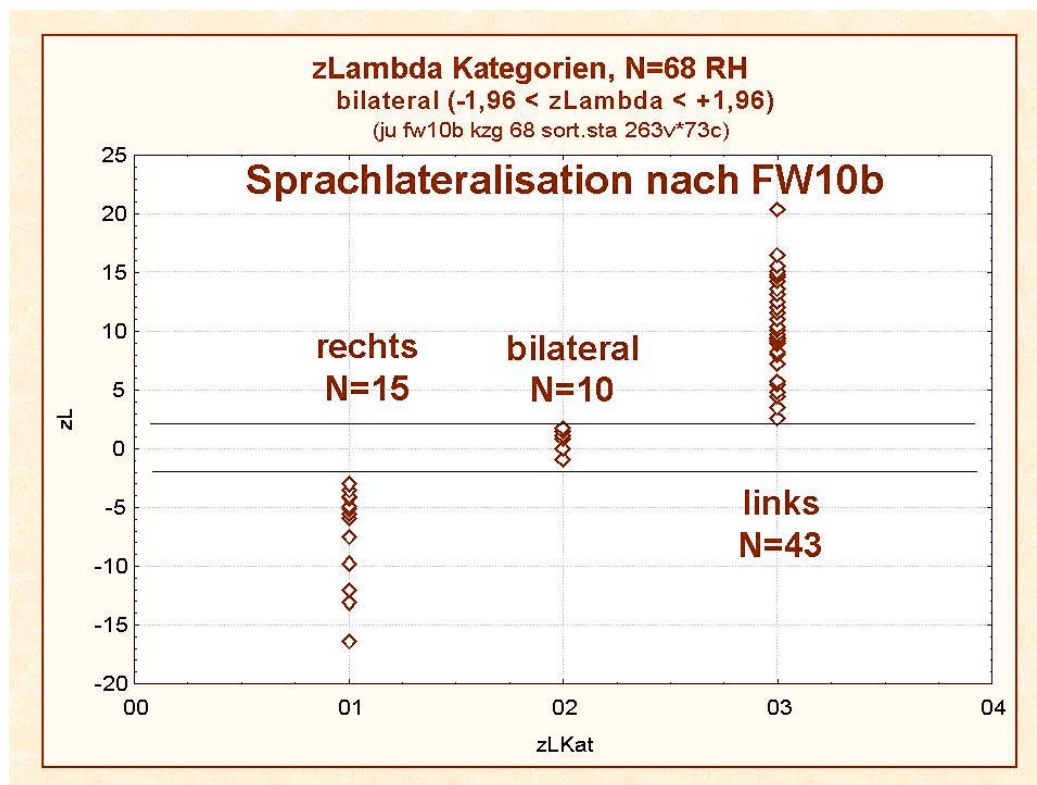


Abbildung D-8 zLambda Kategorien, rechts links, bilateral, N=68 Rechtshänder

Abbildung D-8 In dieser Referenzstichprobe sind Lambda-Werte über  $\lambda = |0,390|$  mit  $p=0.05$  ( $z\lambda = 1,96$ ) bereits signifikant für eine links- oder rechtsseitige Sprach-Lateralisierung.

Bei einem Mittelwert von Lambda  $\lambda = 1,06$  und einem Standardfehler von  $S_e = 0,199206$  ergibt sich daraus ein hochsignifikanter mittlerer z-Lambda-Wert von  $z\lambda = 5,3211$  ( $= 1,06 / 0,199206$ ). Setzt man für eine signifikante Lateralisierung eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% an, so liegen die Grenzen für die Kategorie "bilateral" für  $z\lambda$  bei  $-1,96 < z\lambda < +1,96$ . Aus der Beziehung  $z\lambda = \lambda / S_e(\lambda)$  ergeben sich die entsprechenden Grenzen für  $\lambda$  bei  $-0,39 < \lambda < +0,39$  ( $= 1,96 \times S_e$ ), (Abbildung D-8, S. 82).

#### D.5.4.2 Ergebnisse 2: Ohr-Vorteile bei N=68 Rechtshändern

Wie in den Voruntersuchungen zeigten sich die erwarteten signifikanten Vorteile für das rechte Ohr. Die statistische Behandlung der beiden Messwertreihen LOP und ROP zeigte sowohl unter der Betrachtung als abhängige Stichproben (Wilcoxon-Test) als auch als Varianzanalyse mit Messwiederholung (ANOVA) signifikante Unterschiede

de an (Wicoxon:  $T=363$ ,  $z=4,41$ ,  $p=0,000010$ , ANAOVA: Wilks=0,244449, Effekt  $FG=2$ , Fehler  $FG=68$ ,  $p<0,01$ , Abbildung D-9)

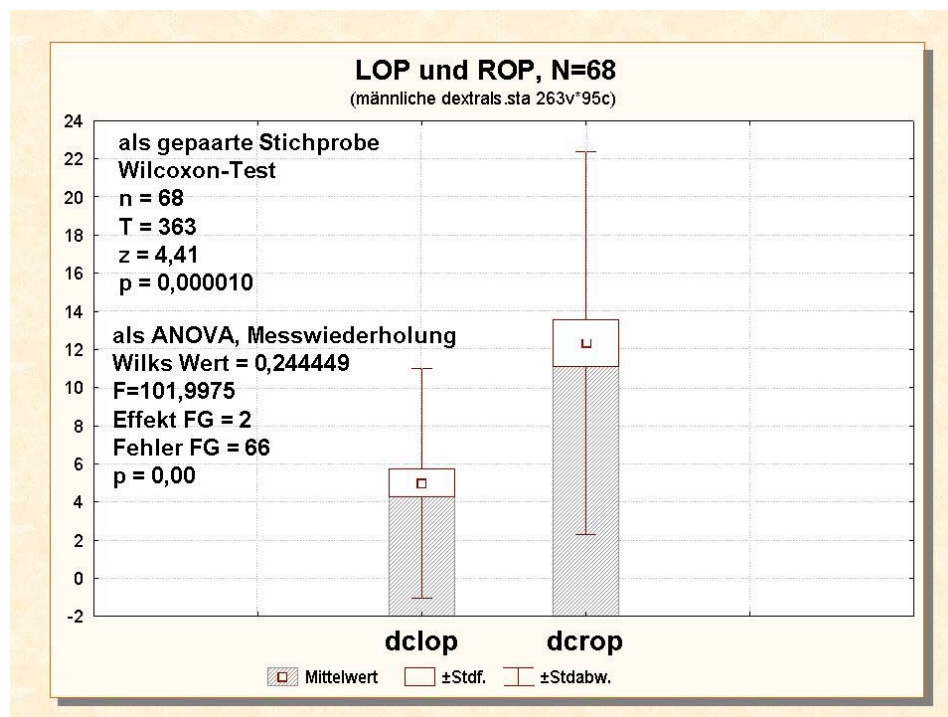


Abbildung D-9 Rechts-Ohr-Vorteil, N=68 männliche Rechtshänder, FW10b

Abbildung D-9 Die Variablen dclop und dcrop stellen die "echten" gezählten (counted) Ohr-Dominanz-Punkte LOP und ROP dar, jedoch ohne die Substitution durch 1 falls LOP oder ROP den Wert 0 haben.

### D.5.4.3 Ergebnisse 3: Korrelation der Ohrvorteile in den 8 Durchgängen

Während die LOP über die 8 Durchgänge kaum variierten war für die ROP bis zum 5. Durchgang eine Abnahme der initialen ROP zu beobachten, worin sich vermutlich eine Habituation an das Stimulusmaterial ausdrückt. Nach dem 5. Durchgang nahmen die ROP wieder leicht zu.

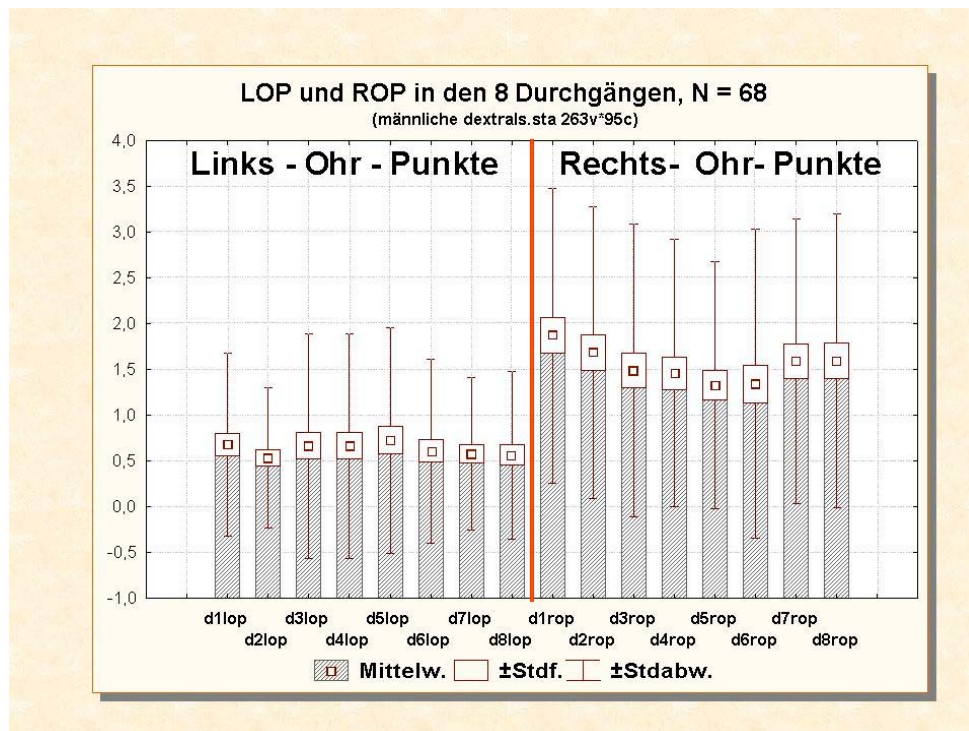


Abbildung D-10 Ohrpunkte in den Durchgängen, N=68 Rechtshänder, FW10b

Im Durchschnitt trug ein Durchgang mit 0,623 LOP und 1,540 ROP zum Ergebnis bei. Pro Durchgang (20 Darbietungen) wächst die Differenz um 0,917 Ohrpunkte, also um 0,04585 pro Darbietung.

Für ein Erlöschen des Rechts-Ohr-Vorteils mit zunehmender Untersuchungsdauer gab es keine Hinweise.

Die Rechts-Ohr-Punkte aus den einzelnen Durchgängen korrelierten alle signifikant miteinander ( $p=0.05$ ). Die Höhe der Korrelationen lagen im Bereich von  $r=0,41$  bis  $r=0,78$ . Bei den Links-Ohr-Punkten lagen die signifikanten Korrelationen ( $p=0,05$ ) im Bereich von  $r=0,27$  bis  $r=0,74$ . Drei Korrelationen unter 0,27 waren nicht signifikant (Tabelle D-3, S. 85).

Tabelle D-3 Korrelationen der Ohr-Punkte aus den 8 Durchgängen, FW10b, N=68

---ROP	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8
LOP								
d1	-----	0,66	0,47	0,42	0,41	0,42	0,64	0,57
d2	0,40	-----	0,51	0,46	0,48	0,47	0,76	0,74
d3	0,30	0,29	-----	0,68	0,76	0,68	0,66	0,54
d4	0,27	0,18	0,68	-----	0,72	0,76	0,58	0,51
d5	0,23	0,22	0,74	0,66	-----	0,71	0,62	0,58
d6	0,42	0,41	0,74	0,72	0,70	-----	0,52	0,61
d7	0,37	0,41	0,44	0,41	0,35	0,49	-----	0,78
d8	0,61	0,40	0,39	0,37	0,48	0,45	0,57	-----

Tabelle D-3 Die Tabelle zeigt die Korrelationen der Ohr-Punkte aus den 8 Durchgängen. Oberhalb der Diagonalen befinden sich die Korrelationen der ROP, unterhalb der Diagonalen die Korrelationen der LOP. Alle Korrelationen waren bei  $p=0,05$  signifikant, mit Ausnahme der 3 grau unterlegten (LOP).

### D.5.5 Diskussion: Referenzuntersuchung, N=68 Rechtshänder

Die Untersuchung der N=68 Rechtshänder zeigte für die gesamte Gruppe signifikante ROV. Lambda-Werte über einem Betrag von  $\lambda=1$  0,390 | waren mit  $p=0.05$  bereits signifikant für eine links- oder rechtsseitige Sprach-Lateralisierung. Signifikant rechtslateralisiert waren 15, signifikant linkslateralisiert 43 Probanden. Als bilateral wurden 10 Probanden kategorisiert. Um eine Vergleichbarkeit mit dem amerikanischen FRWT herzustellen wurde die Anzahl der einfachen ROV berechnet. Ein einfacher ROV liegt vor, wenn die Anzahl der ROP die Anzahl der LOP übersteigt (einfacher ROV :  $ROP > LOP$ ). Bei 47 der 68 (70%) rechtshändigen Probanden ließ sich ein einfacher ROV finden, ein LOV bei N=16 (23%) und kein Ohrvorteil bestand bei N=5 (7%). Der amerikanische FRWT war in der Lage, bei Rechtshändern zu 85% einen einfachen ROV nachzuweisen (ROV=85%, LOV=12%, kein Ohrvorteil 3%, Wexler & Halwes 1983, [10]). Auch für den dichotischen Konsonant-Vokal Silben Tests wurde eine Rate von 85% ROV unter Rechtshändern angegeben (Asbjornsen & Bryden 1996, [11]).

Da bei der dichotischen Serie FW10b sowohl die innere Konsistenz als auch die Re-Test-Reliabilität im Vergleich mit anderen dichotischen Tests hoch ist und das Stimulusmaterial sich gegenüber aktivierenden fMRT Untersuchungen und gegenüber der Wada-Lateralisierung als valide erwiesen hat, ist der geringere Anteil von 70% ROV und insbesondere der hohe Anteil von 23% LOV vermutlich auf Stichprobeneffekte zurückzuführen. Durch die Auswahl von Probanden einer psychiatrischen Station eines Militärkrankenhauses erscheint es möglich, dass eine erhöhte Anzahl von Probanden mit unspezifischen neuro-biologische Risiken mitselektiert wurden, die wiederum für eine Rechtshändergruppe hinsichtlich ihrer Sprachlateralisierung nicht völlig

repräsentativ waren. Obwohl ein eng definiertes Kriterium für die Rechtshändigkeit anhand des EHI angelegt worden war, fiel die Gruppe durch einen hohen Anteil von Probanden auf, die beim Hände-Klatschen (Beifall-Klatschen) keine Asymmetrie angaben (53%).

Gegenüber dem amerikanischen FRWT mit 6% Fehler (Tonband und Papier-Bleistift) zeichnete sich die PC-Darbietung des FW10b durch eine deutlich geringere Fehlerrate von 1,3 % aus.

## **D.6 Händigkeit, vestibuläre Asymmetrie und dichotisches Hören**

### **D.6.1 Vestibuläre Asymmetrie: Unterberger Tretversuch (UT)**

Der Tretversuch wurde 1938 von Unterberger zum Nachweis vestibulo-spinaler Abweichungen entwickelt (Einfluss eines gestörten Vestibulärsystems auf Körperreaktionen). Dazu wird der Proband gebeten, im abgedunkelten Raum 1 min lang auf der Stelle zu treten (ca. 50 Tritte auf der Stelle). Damit keine Orientierungsmöglichkeit besteht, darf während des Versuches nicht gesprochen werden. Während dieses Trezens auf der Stelle dreht sich der Proband - auch bei ungestörtem Vestibulärsystem - leicht gegenüber seiner Startposition. Der rechtshändige Proband sollte erwartungsgemäß leicht nach rechts drehen. Unterberger nahm in seiner Publikation von 1939, ohne es selbst systematisch untersucht zu haben, noch eine gegenteilige Drehrichtung an. "Wo überhaupt beim Gesunden eine Körperdrehung zu beobachten war, war diese beim Rechtshänder nach links und beim Linkshänder nach rechts gerichtet" (Unterberger, 1938 S. 484, [68]). Nachfolgende Studien haben den Zusammenhang von Händigkeit und Drehrichtung in dieser Form jedoch nicht bestätigt.

Unterberger selbst betonte, dass die Drehtendenz bei seinem Tretversuch nicht durch die Tonus-Asymmetrie der Extremitätenmuskulatur entstünde, sondern "eine spezifische Reaktion für die Vestibularisstörung" sei (Unterberger 1938, S. 489, [68]). Nach den Vorstellungen von Previc (1991, [63]) würde man für die Drehrichtung beim Unterberger Tretversuch eine Rechtswendigkeit für die dextral geprägten Individuen erwarten, während Non-Dextrals (vestibulär ungeprägte Typen) sowohl nach links als auch nach rechts drehen könnten, also keine einheitliche Drehrichtung aufweisen sollten.

### **D.6.2 Händigkeit und der Unterberger Tretversuch (UT)**

Scholtz & Kunath (1978, [78]) beobachteten bei N=537 gesunden Probanden eine überwiegende Drehtendenz nach rechts. In dieser Studie wurden leider keine Händigkeitsvariablen erhoben. Da es sich aber um Daten aus arbeitsmedizinischen Tauglichkeitsuntersuchungen (Reihenuntersuchung) an Höhenarbeitern handelte, ist



davon auszugehen, dass die Stichprobe ganz überwiegend aus Rechtshändern bestanden hat.

Reiß & Reiß (1997, [75]) berichteten ebenfalls eine hohe Assoziation der Rechtshändigkeit mit einer Drehtendenz (Abweichung von mehr als  $10^\circ$ ) im UT nach rechts (70%). Die untersuchte Gruppe von Linkshändern (LQ unter - 30) drehten sich dagegen zu annähernd gleichen Teilen nach links oder nach rechts (54% nach rechts) und zeigten keine dem Rechtshänder vergleichbare einheitliche Präferenz der Drehrichtung. Bei einer Re-Test-Untersuchung nach 3 Monaten waren die Drehtendenzen individuell hinsichtlich der Richtung sehr stabil; 80 von 86 Probanden (93%) drehten zur gleichen Seite wie in der ersten Untersuchung. Zusammenfassend lässt sich hinsichtlich der Drehtendenz von gesunden Probanden im UT eine vorhersagbare Drehtendenz nur für die Rechtshänder nach rechts erkennen, während Non-Dextrals in ihrer präferierten Drehtendenz nicht festgelegt zu sein scheinen.

### **D.6.3 Problemstellung: Vestibuläre Asymmetrie und dichotisches Hören**

Reiß & Reiß (1998, [75]) untersuchten an  $N=100$  normal hörenden Probanden die korrelativen Zusammenhänge zwischen verschiedenen sensorischen, motorischen und vestibulären Lateralitätsparametern. Dabei zeigte sich, dass zwischen dem dichotischen Hörtest (CV Silben Test, Hugdahl et al. 1990, [79]) und dem Unterberger Tretversuch eine höhere Korrelation bestand als zwischen dem dichotischen Test und der Händigkeit ( $r=0.39$  vs.  $r=.22$ ). Dies überrascht, da nach Previc's Theorie die Lateralität von Händigkeit und Sprache verschiedene Ursprünge haben. In der folgenden Analyse soll auch für die Itemserie FW10b die Assoziation zur vestibulären Asymmetrie bestimmt werden.

### **D.6.4 Hypothesen**

Hypothese D.6-1 Drehtendenz und Sprachlateralität

**H0:** Es besteht keine Korrelation zwischen den Drehtendenzen im UT und dem Lateralisationsergebnis im dichotischen Hören (FW10b).

**H1:** Es besteht eine signifikante mittlere Korrelation zwischen den Drehtendenzen im UT und dem Lateralisationsergebnis im dichotischen Hören (FW10b).

### Hypothese D.6-2 Drehtendenz und Händigkeit

**H0:** Es besteht keine Korrelation zwischen den Drehtendenzen im UT und der Händigkeit.

**H1:** Es besteht eine signifikante Korrelation zwischen den Drehtendenzen im UT und der Händigkeit.

## D.6.5 Methoden

Untersucht wurden die N=33 Versuchspersonen aus der Untersuchung C.6.3 (N=16 männlich und N=17 weiblich), im Alter von 19 bis 31 Jahren (MW= 25). Die Händigkeit der Versuchspersonen war mehrheitlich rechtshändig. Bei einem engen Rechtshändigkeitskriterium von einem EHI-LQ von mindestens +60 waren 27 Probanden rechtshändig und 6 nicht-rechtshändig.

### D.6.5.1 Durchführung des Unterberger Tretversuches

Zur Verbesserung der Reliabilität hatten Scholtz & Kunath (1978, [78]) empfohlen, den UT dreimal durchzuführen und nur den letzten Durchgang zu werten. Dementsprechend wurde der UT in der vorliegenden Untersuchung viermal durchgeführt (Instruktion s. Anhang H-07, S. 133). Die visuelle und auditive Orientierung wurde minimiert, in dem die Probanden während des UT eine Schlafmaske und einen Lärmschutzkopfhörer trugen. Um restliche Orientierungsmöglichkeiten auszubalancieren, wurden die Durchgänge von zwei, sich um 180 ° auf einer Linie gegenüberliegenden Positionen (A und B) gestartet. Von jeder Position aus wurden zwei Versuche durchgeführt. Falls die Versuchsperson sich auf eine Rest-Schallquelle im Untersuchungsraum hin ausrichten würde, würden sich die dadurch bedingten Rotationsrichtungen gegenseitig neutralisieren. Läge eine hypothetische Rest-Schallquelle beim Start von A aus rechts von der Versuchsperson, so läge sie beim Start von B aus links von ihr. Die Versuchspersonen absolvierten die Tretversuch-Durchgänge entweder in der Sequenz AB-BA oder BA-AB. Hierdurch sollten Reihenfolge-Effekte aufgefangen werden. Auf dem Boden befand sich eine Startmarkierung, von der aus die Winkelabweichung mit einem Winkelmesser bestimmt werden konnte. Drehungen nach rechts wurden als positive Werte registriert (z. B. +41°), Abweichungen nach links als negative. Als Gesamtergebnis wurde die Summe über alle 4 Durchgänge gebildet.

Scholtz & Kunath (1978, [78]) betrachteten eine Winkelabweichung über  $45^\circ$  als auffällig und eine Abweichung von über  $75^\circ$  spräche mit hoher Wahrscheinlichkeit für eine Vestibularisstörung. Dementsprechend wurden die Winkelabweichungen  $u$  für jede Drehrichtung in vier Abweichungsstufen (AS) erfasst. Diese Stufen stellten das rangskalierte Maß dar, das für die korrelativen Berechnungen herangezogen wurde. Es beinhaltet sowohl die Drehrichtung als auch die Amplitude der Rotation.

Rechts-Drehung		Links-Drehung	
Gruppe 0:	$0^\circ \leq u \leq 10^\circ$	Gruppe 0:	$-10^\circ \leq u \leq 0^\circ$
Gruppe 1:	$11^\circ \leq u \leq 45^\circ$	Gruppe -1:	$-45^\circ \leq u \leq -11^\circ$
Gruppe 2:	$46^\circ \leq u \leq 75^\circ$	Gruppe -2:	$-75^\circ \leq u \leq -46^\circ$
Gruppe 3:	$76^\circ \leq u$	Gruppe -3:	$u \leq -76^\circ$

Daneben wurde ein rangskaliertes Maß RI berechnet, welches nur die Drehrichtung ohne Berücksichtigung der Amplitude beinhaltete. Hierzu wurden die Drehrichtungen aus den 4 Durchgängen wie folgt kodiert: Rechtsdrehung in 4 von 4 Durchgängen (RRRR) RI = 5, in 3 von 4 (LRRR) RI=4 usw. (LLRR=3, LLLR=2, LLLL=1).

### D.6.6 Ergebnisse

Im UT zeigte sich eine deutliche Tendenz für eine zunehmende Links-Wendigkeit der Gesamtgruppe (dextral und non-dextral) im Laufe der 4 Durchgänge (Aktueller Effekt:  $F(3, 96)=2,5720$ ,  $p=,05860$ , Tabelle D-4).

Tabelle D-4 Deskriptive Statistik, Unterberger Tretversuch

UTV-Durchgang	Mittelwert	SD
1	15,8	51,1
2	5,3	45,7
3	-0,5	55,7
4	-7,7	54,9

Tabelle D-4 Mittelwerte und Standardabweichungen der Durchgänge des Unterberger Tretversuches.

Die Varianzen der Durchgänge unterschieden sich nicht signifikant voneinander (Cochran-Test:  $TG=0,27$ ; bei  $F_{\max}(3, 4, \alpha=0,05)=0,68$ ). Auf einem Niveau von  $p<0,05$  konnten im multiplen Mittelwertsvergleich keine Unterschiede festgestellt werden.

Die Abfolge der 4 Durchgänge (AB-BA vs. BA-AB) hatte keinen Einfluss auf die Abweichungswerte.

Zwischen dem Gesamtergebnis im UT (Summe aller Abweichungen) und den Lambda-Werten des dichotischen Hörtests FW10B bestand keine Korrelation ( $r=-0,05$ ). Keiner der einzelnen Durchgänge des UT korrelierte nennenswert mit den Lambda-Werten (Korrelationen zwischen  $r=0,11$  und  $r=-0,12$ , Berechnung mit Hilfe der Abweichungsstufen AS). Auch unter ausschließlicher Berücksichtigung der Drehrichtung (RI) fanden sich keine Zusammenhänge mit dem dichotischen Lateralisierungsergebnis. Die Hypothese D.6-1 ließ sich nicht bestätigen,  $H_0$  war beiz

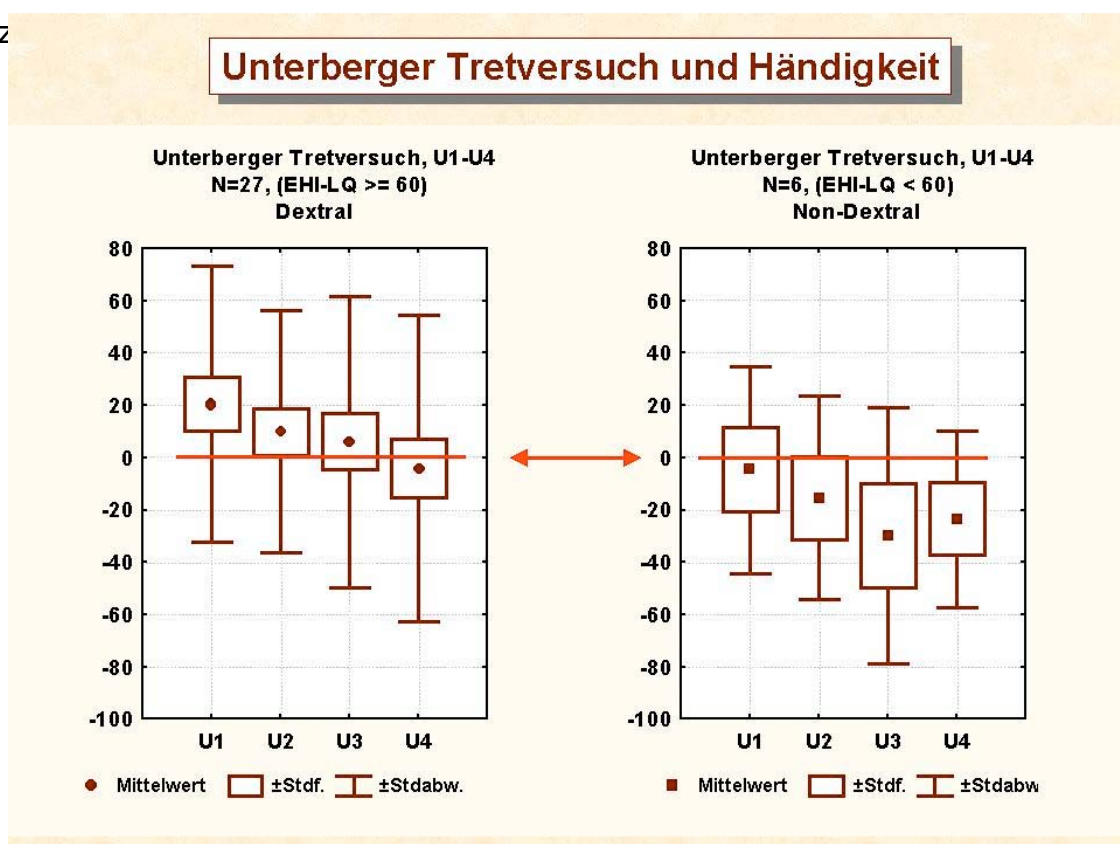


Abbildung D-11 Unterberger Tretversuch und Händigkeit

Abbildung D-11 Rotationswinkel in den 4 Durchgängen des UT in Abhängigkeit von der Händigkeit. Die dextrale Gruppe rotierte im Mittel leicht nach rechts (positive Rotationswinkel), die Nicht-Rechtshänder nach links (negative Rotationswinkel). Die Linkswendigkeit nahm von U1 zu U4 zu.

Die Korrelationen der einzelnen UT-Durchgänge mit der Händigkeit (EHI-LQ) betrugen zwischen  $r_{\min}=.12$  und  $r_{\max}=.38$  und für den Gesamtestwert des UT  $r=.32$ . Rechtshänder rotierten in dieser Untersuchung hypothesenkonform im Mittel leicht nach rechts,

Nicht-Rechtshänder im Mittel leicht nach links. Die Hypothese C.6-2 war zu bestätigen. Eine Abhängigkeit des UT vom Geschlecht war nicht zu beobachten.

### **D.6.7 Diskussion**

Bei der Durchführung des UT in 4 Durchgängen war eine zunehmende Linkswendigkeit über die Durchgänge zu beobachten. Entgegen den Beobachtungen von Reiß & Reiß (1998, [75]) ließen sich zwischen dem dichotischen Hörergebnis und der vestibulären Asymmetrie keine Assoziation nachweisen. Weder die Maße, die Drehrichtung und Drehwinkel berücksichtigten noch bei der Berücksichtigung der Drehrichtung allein, ließ sich ein solcher Zusammenhang nachweisen. Die Beobachtungen von Reiß & Reiß (1998, [74]) die mit einem dichotischen Silbentest erhoben worden waren, konnten hier nicht repliziert werden. Andererseits waren diese Zusammenhänge nach Previc's Theorie nicht zu erwarten.

Hingegen fand sich hypothesenkonform eine Assoziation der vestibulären Asymmetrie mit der Händigkeit in der Höhe von  $r=.32$ . Rechtshänder rotierten im Mittel nach rechts, während die Nicht-Rechtshänder im Mittel nach links rotierten. Der beobachtete Zusammenhang lag etwas höher als die von Reiß & Reiß (1998, [74]) berichtete Korrelation zwischen Händigkeit und UT in der Höhe von  $r=.22$ .

Die vorliegende Untersuchung spricht nicht für eine Assoziation zwischen UT und Sprachlateralisierung. Um die Beziehungen der vestibulären Asymmetrie und der Sprachlateralisierung konklusiver zu beurteilen, wäre es erforderlich, hinsichtlich der Sprachlateralisierung eine größere Variabilität in der Untersuchungsgruppe zu haben. In der Untersuchungsgruppe befanden sich nur 2 Probanden, denen nach den dichotischen Untersuchungen eine rechtshemisphärische Sprachdominanz zuzuschreiben war. Beide Probanden wurden durch die Tests FW10b und FW12k als rechtslateralisiert erkannt (Vergl.

, S. 49). Davon war der eine ein Nicht-Rechtshänder der im UT nach links rotierte, der andere war Rechtshänder und rotierte nach rechts.

## D.7 Effekte von motorischer Lateralität und Geschlecht

### D.7.1 Problemstellung

Frauen zeigten in Läsionsstudien nach linkshemisphärischen Läsionen geringere Defizite in sprachabhängigen Funktionen als Männer mit vergleichbaren Läsionen. Daneben ergaben sich bei ihnen jedoch auch nach rechtshemisphärischen Läsionen milde Defizite in sprachabhängigen Funktionen, die Männer nicht aufwiesen (McGlone & Davidson 1973, [80], McGlone 1980, [81]). Ausgehend von diesen frühen Untersuchungen entstand die Auffassung, dass Frauen allgemein eine schwächer ausgeprägte Lateralisierung der Sprache aufweisen als Männer. Die Sprachorganisation bei Frauen stellt sich nach unilateralen Läsionen als besser kompensationsfähig dar und weist auch in fMRT Studien die Merkmale einer vermehrten Bilateralität auf (Shaywitz et al. 1995, [82]).

In einer Meta-Analyse von 10 Studien zum dichotischen Hören bei rechtshändigen Probanden fand Bryden (1988, [35]) keine Studie, bei der die Frauen stärkere Rechtsohrvorteile aufwiesen als die Männer (zusammen N=423 Männer, N=437 Frauen). Insgesamt kommt er zum Schluß, dass zwar Geschlechtsunterschiede im dichotischen Hören bestehen, dass diese aber klein und von geringer Bedeutung seien (".. they are small and of marginal significance" (Bryden 1988, S. 32, [35]).

Um Geschlechtseffekte beim dichotischen Hören nachzuweisen, müßten demnach große Gruppen von Versuchspersonen untersucht werden, während die Effekte der Händigkeit schon in kleinen Gruppen zu erwarten sind. In einer kleinen Gruppe sollen die Effekte von Geschlecht und Händigkeit auf das dichotische Hören gegeneinander gestellt werden.

### D.7.2 Hypothesen

Hypothese D.7-1 Händigkeit und Sprachlateralisation

**H0:** Rechtshänder und Nicht-Rechtshänder haben gleiche Lambda-Werte.

**H1:** Rechtshänder zeigen höhere Lambda-Werte als Nicht-Rechtshänder.

## Hypothese D.7-2 Geschlechtseffekt

**H0:** Es bestehen keine Geschlechtsunterschiede in den Lambda-Werten.

**H1:** Es bestehen Geschlechtsunterschiede in den Lambda-Werten.

**D.7.3 Methoden**

Einer Gruppe von 22 gesunden Versuchspersonen im Alter von 20-33 Jahren ( $x_{\text{mean}} = 23,73$  Jahre) wurde die PC-Version der FW10b dargeboten. Bei den 10 Männern lag der mittlere  $\text{EHI}_{\text{LQ}}$  bei  $\text{MW}_{\text{EHI-LQ}} = -15,4$  ( $\text{SD}=77,3$ ) und bei den 12 Frauen bei  $\text{MW}_{\text{EHI-LQ}} = 6,2$  ( $\text{SD}=89,1$ ). Die Händigkeit ( $\text{EHI}_{\text{LQ}}$ ) und das Geschlecht wurden als unabhängige Variablen in jeweils 2 Stufen kategorisiert (Tabelle D-5) und in einer ANOVA analysiert.

Tabelle D-5 Zellbesetzung, Händigkeit und Geschlecht, N=22

(mittl. Lambda)	Linkshänder	Rechtshänder	
männlich	6	4	10
weiblich	6	6	12
	12	10	22

**D.7.4 Ergebnisse**

In der Varianzanalyse zeigte sich nur ein signifikanter Haupteffekt für die Händigkeit ( $F=18,68$ ,  $p=0,00041$ ), während das Geschlecht keinen Einfluss auf das Lateralisierungsergebnis hatte. Zwischen den beiden Faktoren bestand keine Interaktion.

Tabelle D-6 Varianzanalyse, Händigkeit und Geschlecht, N=22

	SQ	FG	MQ	F	p
Konstante	9,22838	1	9,22838	5,85208	0,026371
SEX	0,38282	1	0,38282	0,24276	0,628174
HAND	29,46378	1	29,46378	18,68415	0,000410
SEX*HAND	0,03667	1	0,03667	0,02325	0,880499
Fehler	28,38491	18	1,57694		

Die Korrelation zwischen dem  $\text{EHI}_{\text{LQ}}$  und den Lambda-Werten war hoch und signifikant (Spearman  $R=0,768$ ,  $p=0,000029$ , Pearson  $r=0,723$   $p=0,000142$ ). Hypothese D.7-1 und Hypothese D.7-2 ließen sich in der kleinen Untersuchung bestätigen.

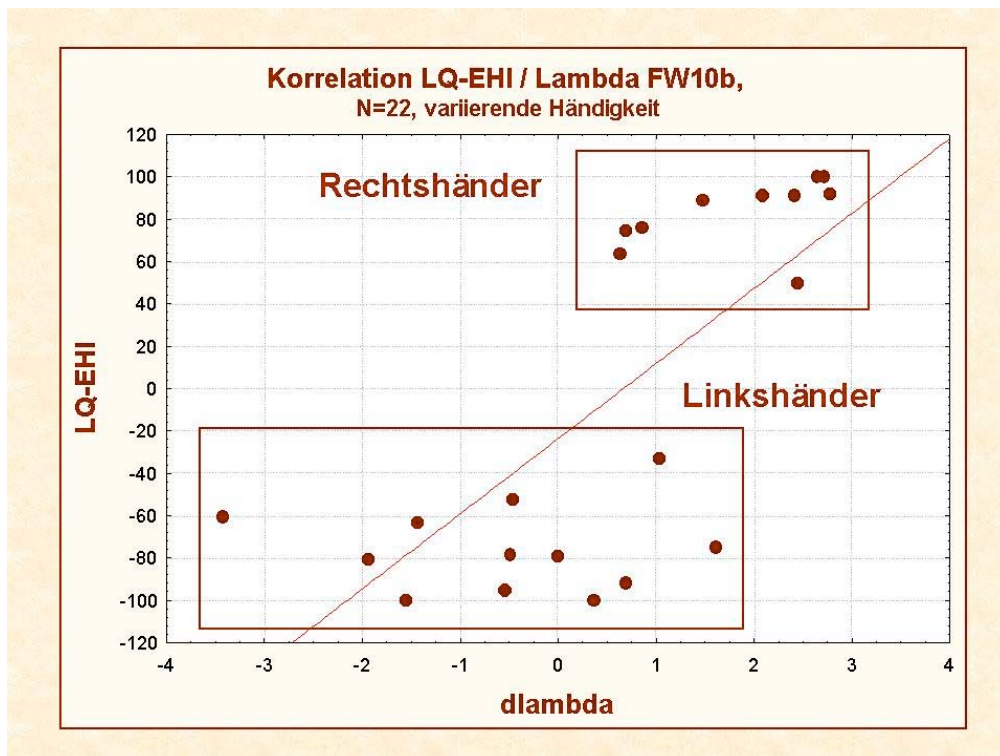


Abbildung D-12 Korrelation LQ-EHI und Lambda FW10b, N=22

Alle N=10 Rechtshänder zeigten einen Rechts-Ohr-Vorteil, während nur 4 von N=12 Linkshändern einen positiven Lambda-Wert aufwiesen.

### D.7.5 Diskussion

Nach allen bisher durchgeführten Analysen fanden sich keine Hinweise dafür, dass sich bei vergleichbarer Händigkeit in den Geschlechtergruppen, ein differentieller Effekt auf das Lateralisierungsergebnis im FW10b ergibt. Geschlechtseffekte sind nur bei sehr großen Gruppen zu erwarten (vergl. auch C.6.4.3 S. 51).

Dagegen zeigte sich erwartungsgemäß eine deutliche Assoziation des Sprachlateralisierungsergebnisses mit der Händigkeit. In Gruppen mit verminderter Rechtshändigkeit finden sich im Durchschnitt verminderte Rechts-Ohr-Vorteile (vergl. auch C.5.4 S. 38 ff.).



## **E Klinische Erprobung**

Im gegenwärtigen Verständnis der Epilepsien wird erwartet, dass sich bei einer fokalen Epilepsie - bei entsprechendem diagnostischen Aufwand - morphologisch strukturelle Veränderungen nachweisen lassen. Auch fokale Epilepsien werden durch den Nachweis von epileptischen Anfällen diagnostiziert und eine Läsion ist hierzu nicht erforderlich. Die nosologische Konzeption schließt aber für die fokalen Epilepsien strukturelle Korrelate ein.

Sowohl fokale Läsionen als auch fokale Anfälle können auf ein eloquentes Kortexareal kompensationsinduzierende Wirkungen ausüben, die zur Etablierung von Sprachfunktionen auf der kontralateralen Seite führen. Aus diesen Gründen ist es methodisch schwierig, die strukturellen und epileptischen Effekte zu trennen: Sie sind bei fokalen Epilepsien immer beide gleichzeitig vorhanden. Darüberhinaus wäre zu erwarten, dass Schädigungen des Hippocampus allein geringere Effekte auf kompensatorische Veränderungen der Sprachlateralisierung haben, als Läsionen des temporo-lateralen Kortex.

### **E.1 Effekte temporo-mesialer und temporo-lateraler Läsionen**

#### **E.1.1 Problemstellung**

In den frühen Studien wurden verschiedene synchronisierte Zahlenreihen auf beiden Ohren getrennt dargeboten, die der Proband sprachlich wiedergeben sollte (Methode der synchronisierten Zahlenreihen, B.2, Kimura 1961, [03] und Schulhoff & Goodglass (1969, [83])).

Bereits die erste Studie von Kimura (1961, [03]) - vor der Zeit von CT und MRT - zeigte, dass eine unilaterale epileptische Läsion und die zerebrale Dominanz für Sprache einen Einfluß auf die Wahrnehmung der dichotischen Sprachstimuli haben. Die beiden Faktoren wurden in der Studie jeweils nur univariat untersucht und nicht in ihrer Interaktion. Mit epilepsiechirurgischen Probanden wurde vor und nach einer einseitigen anterioren Temporallappenresektion ein verbal-dichotischer Test durch

geführt. Vor der Operation absolvierten die Probanden auch einen Wada Test. In Abhängigkeit davon, wie die Patienten im Wada Test klassifiziert worden waren, als links- oder rechtsseitig sprachdominant, reproduzierten sie vom kontralateralen Ohr mehr der dargebotenen Zahlen. Unabhängig davon auf welcher Seite der epileptogene Fokus der Patienten lag, berichteten die Patienten **vor** der Operation mehr Stimuli vom rechten Ohr. D. h. unter der Annahme von überwiegend linkslateralisierten Patienten setzte sich der Sprach-Dominanzeffekt gegen den (epileptischen-) Läsionseffekt durch. In den dichotischen Untersuchungen **nach** der Operation zeigte sich jedoch, dass das zur Operationsseite kontralaterale Ohr die größten Verluste in der Wahrnehmung der Stimuli aufwies, womit ein genereller Läsionseffekt zur Darstellung kam.

Schulhoff & Goodglass (1969, [83]) verwendeten 3 verschiedene Klassen von dichotischen Stimuli von denen bekannt war, dass sie bei Kontrollpersonen (bei einer angenommenen Linkslateralisierung der Sprache) dominanz-typische Ohrvorteile erzeugen: 1. synchronisierte Zahlenreihen für einen Rechts-Ohr-Vorteil (ROV) 2. synchronisierte Tonintervalle für einen Links-Ohr-Vorteil (LOV) und 3. synchronisierte Click-Sequenzen, die keinen Ohrvorteil erzeugen. Mit diesem Stimulusmaterial wurden 3 Gruppen von rechtshändigen, männlichen Erwachsenen untersucht: 10 linkshemisphärisch geschädigte Patienten mit leichten bis moderaten aphasischen Störungen, 10 rechtshemisphärisch geschädigte Patienten mit annähernd homologen Läsionen und 10 Kontrollpersonen. Die Ergebnisse bestätigten die Hypothesen dahingehend, dass sowohl die "lateralen Dominanzeffekte" als auch die "Läsionseffekte" durch eine signifikante Interaktion der Faktoren sichtbar wurden. Beim "lateralen Dominanzeffekt" kam es zu einer verminderten Wahrnehmungsleistung für beide Ohren, wenn die Hemisphäre betroffen war, die für das Stimulusmaterial (prämorbid) spezialisiert war. Die Läsionseffekte zeigten sich in einer Supprimierung der Wahrnehmungsleistung des kontralateralen Ohres für die neutralen und die nicht-dominant verarbeiteten Stimuli. Beim bevorzugt verarbeiteten Stimulus blieb jedoch ein geringer Dominanzeffekt erhalten (Abbildung E-1).

Zatorre (1989, [13]) untersuchte die Validität des FRWTA an 61 epilepsiechirurgischen Kandidaten. Die in die Studie eingeschlossenen Patienten hatten eine "static, atrophic cerebral lesion". Bis auf 7 Patienten hatten alle eine fokale Epilepsie des Temporallappens. Ausgeschlossen waren Patienten mit strukturellen Läsionen (Tumore, Cysten, Verkalkungen, Harmatome usw.). Der dichotische Test konnte in dieser

Gruppe die Wada Klassifikation links, rechts und bilateral mit einer hohen Treffer-rate von 91% reklassifizieren. In dieser Studie hatten die Faktoren Geschlecht, epileptische Läsionsseite und Händigkeit keine signifikanten Effekte.

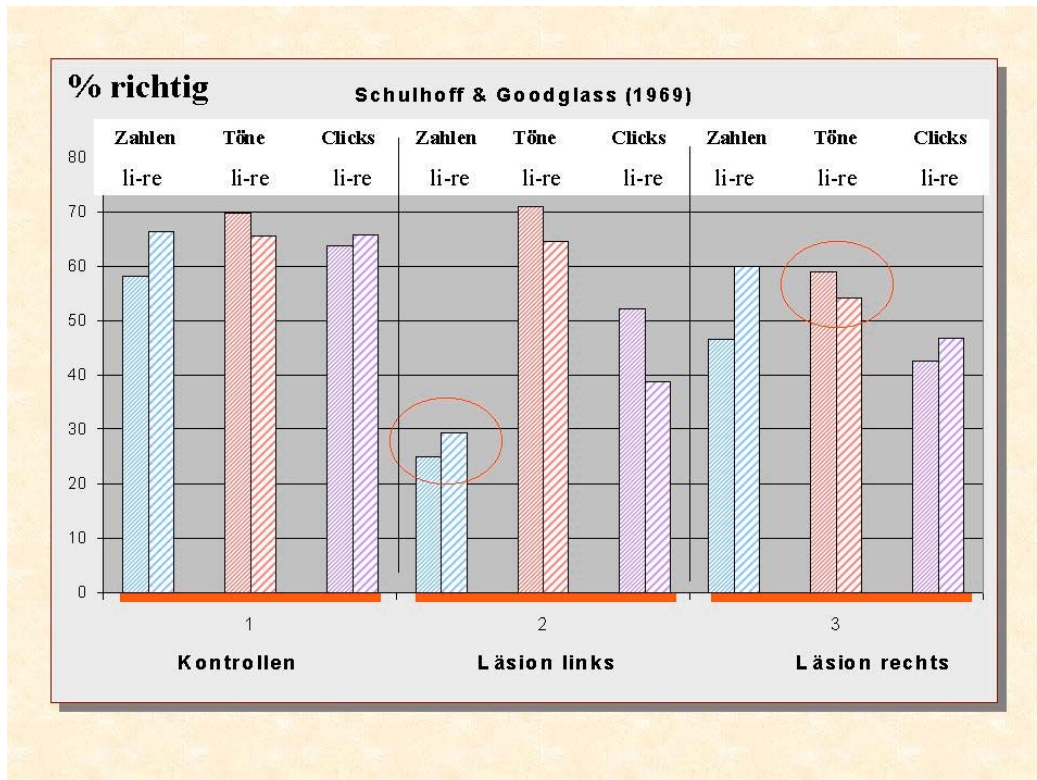


Abbildung E-1 Läsions- und Dominanzeffekt (Schulhoff & Goodglass, 1969)

Abbildung E-1 Ergebnisse der Studie von Schulhoff & Goodglass (1969): Durch die linksseitige Läsion wird die Erkennung verbaler Inhalte (Zahlen) auf beiden Ohren stark unterdrückt, das rechte Ohr behält aber einen dominanzbedingten leichten Vorteil. Durch die rechtsseitige Läsion wird die Erkennung von Tonfolgen auf beiden Ohren unterdrückt, das linke Ohr behält aber einen dominanzbedingten leichten Vorteil. Die entsprechenden Datenreihen sind in der Abbildung durch Kreise markiert.

Fernandes & Smith (2000, [29]) setzten den FRWTA bei 28 Kindern mit Epilepsie ein, die auch einen Wada-Test absolviert hatten. Ähnlich wie in der Studie von Zatorre (1989, [13]) konnte der Test gut die Wada-Klassifikation wiedergeben. In den Daten zeigte sich ebenfalls kein Läsionseffekt.

Über die Hirnregionen, die beim dichotischen Hören sprachlicher Inhalte von besonderer Bedeutung sind, ist noch wenig bekannt. Eine fMRI Untersuchung von Hashimoto et al. (2000, [84]) zeigte im mittleren Teil des sekundären auditiven Areals A2, im Plannum Temporale und im Gyrus und Sulcus temporalis superior bei dichotischer Stimu

lation stärkere Aktivierungen als bei binauraler Stimulation. Die Autoren vermuten, dass an der Integration der dichotischen Stimuli multiple auditive und sprachbezogene Areale des Temporallappens beteiligt sind. In dieser speziellen Frage werden erst weitere fMRI Aktivierungsstudien genaueren Aufschluß geben können.

Vermutlich werden Läsionen in den Regionen, die an der Unterscheidung von Sprachlauten beteiligt sind, eine wichtige Rolle bei der Erzeugung des Läsionseffektes spielen. Hauptsächlich laterale Temporallappenläsionen des temporalen Neocortex, die posterior zur primären Hörrinde liegen (einschließlich der Wernicke Region), sowie Läsionen die das Fasersystem des Temporallappens betreffen, kommen dafür in Frage. In einer selektierten Gruppe mit einem sehr hohen Anteil von temporo-mesialen Epilepsien (Hippocampus-Sklerosen) wie bei Zatorre (1989, [13]), wird sich daher ein Läsionseffekt nur schwer abbilden können, da weder die epileptische noch die morphologische Läsion Sprachfunktionen anhaltend stören.

### **E.1.2Hypothesen**

Die zentrale Frage der vorliegenden Untersuchung ist es, inwieweit temporo-mesiale und temporo-laterale Läsionen einen differentiellen Effekt auf das Ergebnis im dichotischen Hören haben. Die differenziellen Effekte zwischen der mesialen und lateralen Pathologie sind nur zu erwarten, wenn die linke (=sprachdominante) Seite von der Läsion betroffen ist (Wechselwirkungs-Hypothese). Die Effekte können auf der Ebene der Ohrpunkte sowie auf der Ebene der Lambda-Werte analysiert werden.

Die Hypothesen für den Läsionseffekt zielen bei gleicher Wada-Sprachlateralisierung auf die Wechselwirkung zwischen der Seite der Läsion und der Art der temporalen Pathologie ab.

Abhängige Variable sind die Ohrpunkte bzw. der Lambda-Wert, unabhängige Variablen sind die Art der temporalen Pathologie (mesial vs. lateral), die Seite der Läsion bzw. des Anfallsursprunges (links vs. rechts) und die Sprachlateralisierung im Wada Test (links). Für die statistischen Tests wird ein Signifikanzniveau von  $\alpha=0.05$  angesetzt.

#### Hypothese E.1-1 Ohrpunkte, linksseitige Pathologie

- H0:** Patienten mit einer linksseitigen Sprachlateralisierung im Wada- Test und einer ausschließlichen linksseitigen Hippocampus-Sklerose zeigen im dichotischen Test FW10b gleichviele Rechts-Ohr Punkte wie Patienten mit der gleichen Wada-Lateralisierung, aber mit temporo-lateralen Läsionen (kein Läsionseffekt).
- H1:** Patienten mit einer linksseitigen Sprachlateralisierung im Wada- Test und einer ausschließlichen linksseitigen Hippocampus-Sklerose zeigen im dichotischen Test FW10b mehr Rechts-Ohr Punkte als Patienten mit der gleichen Wada-Lateralisierung, aber mit temporo-lateralen Läsionen (Läsionseffekt).

#### Hypothese E.1-2 Ohrpunkte, rechtsseitige Pathologie

- H0:** Patienten mit einer linksseitigen Sprachlateralisierung im Wada- Test und einer ausschließlichen rechtsseitigen Hippocampus-Sklerose zeigen im dichotischen Test FW10b gleichviele Rechts-Ohr Punkte wie Patienten mit der gleichen Wada-Lateralisierung, aber mit temporo-lateralen Läsionen (kein Läsionseffekt).
- H1:** Patienten mit einer linksseitigen Sprachlateralisierung im Wada- Test und einer ausschließlichen rechtsseitigen Hippocampus-Sklerose zeigen im dichotischen Test FW10b mehr Rechts-Ohr Punkte als Patienten mit der gleichen Wada-Lateralisierung, aber mit temporo-lateralen Läsionen (Läsionseffekt).

#### Hypothese E.1-3 Lambda-Werte, linksseitige Pathologie

- H0:** Patienten mit einer linksseitigen Sprachlateralisierung im Wada- Test und einer ausschließlichen linksseitigen Hippocampus-Sklerose haben im dichotischen Test FW10b gleiche Lambda-Werte wie Patienten mit der gleichen Wada-Lateralisierung, aber mit temporo-lateralen Läsionen (kein Läsionseffekt).
- H1:** Patienten mit einer linksseitigen Sprachlateralisierung im Wada- Test und einer ausschließlichen linksseitigen Hippocampus-Sklerose haben im dichotischen Test FW10b höhere Lambda-Werte als Patienten mit der gleichen Wada-Lateralisierung, aber mit temporo-lateralen Läsionen (Läsionseffekt).

Hypothese E.1-4 Lambda-Werte, rechtsseitige Pathologie

**H0:** Patienten mit einer linksseitigen Sprachlateralisierung im Wada- Test und einer ausschließlichen rechtsseitigen Hippocampus-Sklerose haben im dichotischen Test FW10b gleiche Lambda-Werte wie Patienten mit der gleichen Wada-Lateralisierung, aber mit temporo-lateralen Läsionen (kein Läsionseffekt).

**H1:** Patienten mit einer linksseitigen Sprachlateralisierung im Wada- Test und einer ausschließlichen rechtsseitigen Hippocampus-Sklerose haben im dichotischen Test FW10b höhere Lambda-Werte als Patienten mit der gleichen Wada-Lateralisierung, aber mit temporo-lateralen Läsionen (Läsionseffekt).

### **E.1.3 Methoden**

#### **E.1.3.1 Varianzanalytische Untersuchungsdesigns**

Bilaterale oder rechtsseitige Sprachlateralisierungen bei einem epilepsiechirurgischen Klientel sind fast immer die Folge von Kompensationsprozessen bei genuin linksseitiger Sprachlateralisierung und früher linksseitiger Läsion. Patienten mit bilateraler oder rechtsseitiger Sprachlateralisierung werden daher sehr viel seltener rechtsseitig operiert, da sie in aller Regel ihre Läsion und den epileptischen Anfalls-Ursprung auf der linken Seite haben.

Aus diesem Grund ist es kaum möglich, ein ideales voll-faktorisierendes Untersuchungsdesign aus Temporal-Region (mesial vs. lateral) x Anfalls- / Seite Anfalls-Ursprung (links vs. rechts) x Wada-Lateralisierung (links, rechts, bilateral) mit ausreichender Zellbesetzung zu erhalten. Rechtshemisphärische Sprachanteile und rechtshemisphärische Läsionen schließen sich gegenseitig aus (Tabelle E-1).

Tabelle E-1 Ideales-unrealistisches, voll-faktorisierendes Untersuchungs-Design

Faktor 1 temporale Pathologie	Faktor 2 Seite Anfallsursprung	Faktor 3 Wada Lateralisierung	Faktor 4 Ohrpunkte (Messwiederholung)	
			OPL	OPR
temp-mesial	links	links		
		bilateral		
		rechts		
	rechts	links		
		bilateral		
		rechts		
temp-lateral	links	links		
		bilateral		
		rechts		
	rechts	links		
		bilateral		
		rechts		

Tabelle E-1 Weil in der Bevölkerung eine ganz überwiegende Linkslateralisierung der Sprache besteht, finden sich bilaterale und rechtslateralisierte Organisationsformen unter epilepsiechirurgischen Kandidaten meist nur als Kompensation linksseitiger epileptischer und struktureller Läsionen. Daher bleiben die grau unterlegten Zellen unbesetzt.

Für den Nachweis von Läsionseffekten auf das dichotische Ergebnis bei einem dichotischen Test nach dem "fused words"-Prinzip ist es zunächst ausreichend, nur Wada - linksseitig lateralisierte Patienten zu betrachten und den Faktor 3 "Wada-Lateralisierung" aus dem Design herauszunehmen.

Analysiert wurde deshalb ein 3 faktorielles Design mit den Faktoren (1) temporale Pathologie (mesial vs. lateral) (2) Seite des Anfallsursprunges (links vs. rechts) und (3) dichotisches Ergebnis (OPL vs OPR). Für die Analyse der Ohrpunkte wird der Faktor (3) als Messwiederholungsfaktor deklariert. Für die Analyse der Lambda-Werte wird das dichotische Ergebnis als abhängige Variable in einem 2-faktoriellen Design mit den Faktoren (1) und (2) behandelt.

Tabelle E-2 Realisiertes varianzanalytisches Untersuchungs-Design

Wada Sprache	Faktor 1 temporale Pathologie	Faktor 2 Seite Anfallsursprung	Faktor 3 (R1) Ohrpunkte (Messwiederholung)	
			OPL	OPR
links	temp-mesial	links		
		rechts		
	temp-lateral	links		
		rechts		

Besonders von den Patienten, die eine temporo-laterale Läsion auf ihrer dominanten Seite haben, wären die Läsionseffekte im dichotischen Hören zu erwarten. Da sie im Wada-Test als linkslateralisiert kategorisiert worden sind, sollten sie entsprechend einen Rechts-Ohr-Vorteil und einen positiven Lambda-Wert im dichotischen Hörtest zeigen. Der Läsionseffekt müsste sich daher bei linksseitigen Läsionen als Abnahme der Rechts-Ohr-Punkte bzw. als eine Abnahme des Lambda-Wertes äußern.

### E.1.3.2 Versuchspersonen

Aus einem Pool von 74 Patienten, die im Epilepsie-Zentrum Berlin-Brandenburg alle ein prächirurgisches diagnostisches Programm durchlaufen haben, wurde eine Gruppe ausschließlich mit Temporallappenepilepsien zusammengestellt, die alle im Wada-Test als linkslateralisiert kategorisiert worden waren. Bei allen Patienten lag eine temporale Pathologie vor, und bei allen Patienten entsprach die Seite der temporalen Pathologie auch der Seite des Anfallsursprunges. Das diagnostische Programm umfasste

- a) mindestens ein intensives EEG Monitoring zur Ermittlung des Anfalls-Ursprunges,
- b) eine MRT Untersuchung mit T1, T2 und FLAIR Messungen, in axialen (mit temporalen Kippung), coronaren (90° zur temporalen Kippung) und sagittalen Schichten,
- c) eine ausführliche neuropsychologische Untersuchung (Anhang H-04 S. 130),
- d) eine Untersuchung mit dem dichotischen Test FW10b (Anhang H-05, S. 131) und
- e) ein Wada-Test (nach dem Bethel-Cleveland Protokoll, Anhang H-10, S. 134).



Es ergaben sich N=44 Patienten mit temporalen Epilepsien und unilateral linkseitiger Sprachlateralisation im Wada-Test. Diese Gruppe wurde eingeteilt

(1.) nach dem Ort der temporalen morphologischen Läsion in die beiden Kategorien a) **temporo-mesial** (nur Hippocampus-Sklerose) und b) **temporo-lateral** (zystische Veränderungen, Kavernome, Hamatome, temporale Tumore, Temporallappen-Atrophie, temporale Dysplasien).

(2.) nach der Seite ihres Anfall-Ursprunges a) Anfalls-Ursprung **links-temporal** und b) Anfalls-Ursprung **rechts-temporal**. Es entstanden 4 Gruppen von annähernd gleicher Größe (Tabelle E-3).

Tabelle E-3 Untersuchungsgruppen mit temporaler Pathologie, N=44

N=44		Anfalls-Ursprung		
		links	rechts	
temp. Pathologie	mesial	12	11	23
	lateral	12	9	21
		24	20	44

### E.1.3.3 Geschlecht, Alter, Epilepsiebeginn, Epilepsiedauer

In der Untersuchungsgruppe befanden sich 25 Männer und 19 Frauen mit einem mittleren Alter von MW=38,8 (SD=12,1) bzw. MW=34,6 (SD=8,7) Jahren. Bei den Frauen begann die Epilepsie im Mittel um 1,8 Jahre früher als bei den Männern, worin die frühere Geschlechtsreife der Frauen zum Ausdruck kommt. Von den hormonellen Veränderungen im Zusammenhang mit der Geschlechtsreife wird angenommen, dass sie bei der Auslösung der Epilepsie beim Vorliegen einer bis dahin "stummen" Läsion, eine Rolle spielen. Die Epilepsiedauer war bei den Frauen im Durchschnitt um 1,9 Jahre kürzer (vergl. Anhang H-14, S. 138).

Unterschiede in den Alters- und Zeitvariablen zeigten sich, wenn die Patienten nach der Art ihrer temporalen Pathologie (mesial vs. lateral) gruppiert wurden. Patienten mit einer temporo-lateralen Pathologie kamen in der Tendenz mit einem niedrigeren Lebensalter zur prä-operativen Diagnostik (33,7 vs. 40,0 Jahre,  $-t=1,99$ ,  $p=0,053$ ) und ihre Epilepsien hatten bis dahin eine kürzere Laufzeit (16,9 vs. 22,0 Jahre,  $-t=1,69$ ,  $p=0,100$ ). Das ist verständlich, da sich in der temporo-lateralen Gruppe einerseits Patienten mit z. T. nieder-malignen Tumoren befinden und andererseits ganz allgemein, die Bereitschaft der Patienten, einer Operation zuzustimmen, beim Vorliegen einer

sichtbaren morphologischen Läsion früher vorhanden ist. Das Alter zu Beginn der Epilepsie unterschied sich in den Gruppen mesial vs. lateral nicht (Tabelle E-4).

Tabelle E-4 t-Tests der Alters- und Zeitvariablen, N=44

N=44	Mittelwerte					Varianzen / SD			
	N=23	N=21	t-Wert	FG	p	N=23	N=21	F-Quot.	p
	mesial	lateral			M	mesial	lateral	Var	Var
AL	40,0	33,7	-1,993	42	0,053	12,0	8,5	2,006	0,123
AB	18,0	17,3	-0,211	42	0,834	9,7	11,3	1,348	0,494
DE	22,0	16,9	-1,681	42	0,100	11,1	8,9	1,566	0,317

Tabelle E-4 AL = Lebensalter bei der präoperativen Diagnostik, AB = Alter bei Epilepsiebeginn, DE = Dauer der Epilepsie bis zur präoperativen Diagnostik.

Nimmt man an, dass temporale Anfälle allein - unabhängig von der Art der temporalen Pathologie - zur Unterdrückung der kontralateralen Ohr-Punkte führen würde, wäre zu erwarten, dass die mesialen Epilepsien niedrigere Lambda-Werte zeigen, da sie im Durchschnitt eine längere Laufzeit der Epilepsien haben und deshalb evtl. eine höhere Gesamtzahl von lebenszeitlichen Anfällen aufweisen. Die längere Laufzeit der mesialen Epilepsien wirkt somit der Hypothese E.1-1 entgegen, dass die laterale Pathologie der entscheidende Faktor am Läsionseffekt darstellt. Um die Effekte der Gesamtzahl lebenszeitlicher Anfällen eingehender beurteilen zu können, wären umfangreiche Analysen der z. T. jahrzehntelangen Krankengeschichten erforderlich, die in der vorliegenden Studie nicht zu leisten waren.

#### E.1.3.4 Händigkeit

Unter den N=44 Patienten gab es 5 non-dextrale Patienten mit einem EHI-LQ unter +60, die sich relativ gleichmäßig auf die 4 Gruppen verteilten (Tabelle E-5).

Tabelle E-5 N=5 non-dextrale Patienten in den mesialen und lateralen Gruppen

	Seite Anfalls-Ursprung	mesial	lateral	gesamt
non-dextral	links	2	0	2
	rechts	1	2	3
	gesamt	3	2	5

Zwischen den Gruppen mit mesialer und lateraler Pathologie unterschieden sich die Mittelwerte der EHI Händigkeitswerte (EHI-LQ) im t-Test signifikant (Tabelle E-6), was jedoch nur an der vorliegenden Varianzeinschränkung in der Gruppe links-lateral lag, in der alle Patienten einen EHI-LQ von 100 hatten. Von einem differentiellen Effekt der Händigkeit auf das dichotische Ergebnis in den Pathologie-Gruppen mesial vs. lateral ist jedoch nicht auszugehen, da alle Gruppen als überwiegend rechtshändig bezeichnet werden können. Weitere deskriptive Daten zur Händigkeit befinden sich im Anhang H-13 S. 137.

Tabelle E-6 t-Test, EHI-LQ, mesiale u. laterale Pathologie, Anfalls-Ursprung links u. rechts

EHI-SA	Mittelwerte					Varianzen					
	mes M	lat M.	t-Wert	FG	p	mes	lat N	mes	lat SD	F-	p
links	83,33		-0,18	22	0,011	12	12	21,03	00,00	0,00	1,00
rechts	90,00	74,4	0,00	18	1,000	11	9	20,49	50,8	6,13	0,01

Tabelle E-6 SAU = Seite des Anfall-Ursprunges. Bei linksseitigem Anfalls-Ursprung waren die Varianzen des EHI-LQ in der Gruppe mit lateraler Pathologie gleich null.

Bei den Patienten mit linksseitigem Anfalls-Ursprung hatte die Gruppe mit der lateralen Pathologie tendentiell die höheren Rechtshändigkeitswerte (EHI-LQ 100,0 vs. 83,3). Unter der Annahme, dass die Händigkeit hier das dichotische Ergebnis bestimmt, wäre zu erwarten, dass gerade diese ausschließlich rechtshändige Gruppe die meisten ROP erreicht. Der Unterschied im EHI-LQ zwischen den Gruppen mesial vs. lateral ist somit der Hypothese E.1-1 entgegengerichtet.

## E.1.4 Ergebnisse

### E.1.4.1 Varianzanalyse der Ohr-Punkte in den 4 Untersuchungsgruppen

Die deskriptiven Daten der gesamten Wada-linkslateralisierten Untersuchungsgruppe ergaben im Mittel erwartungsgemäß mehr Rechts-Ohr-Punkte als Links-Ohr-Punkte (ROP=13,0, LOP=5,4). Bei der Gruppierung nach der Seite des Anfalls-Ursprunges zeigte sich bereits ein differenzielles Bild. Die links-laterale Gruppe hatte mehr LOP (10,0 vs. 3,5) und gleichzeitig weniger ROP (5,8 vs. 10,9) als die links-mesiale Gruppe. Die Streuungen der Rechts-Ohr-Punkte waren bei linksseitiger Pathologie vermindert (7,6 vs. 15,9, Tabelle E-7).

Tabelle E-7 N=44, Deskriptive Daten, LOP und ROP, in den 4 Untersuchungsgruppen

Ohr-Punkte	N	cLOP		cROP	
		MW	SD	MW	SD
<b>gesamt</b>	44	5,4	7,4	12,9	13,0
<b>Pathol links</b>	24	6,8	7,6	8,3	7,6
<b>Pathol rechts</b>	20	3,8	6,8	18,4	15,9
<b>mesial</b>	23	4,0	7,1	14,7	14,7
<b>lateral</b>	21	7,0	7,5	11,0	10,8
<b>mesial links</b>	12	3,5	5,2	10,9	8,9
<b>lateral links</b>	12	10,0	8,5	5,7	5,1
<b>mesial rechts</b>	11	4,5	9,0	18,7	18,8
<b>lateral rechts</b>	9	3,0	3,0	18,1	12,6

Das varianzanalytische Gesamtmodell zeigte sich für die Rechts-Ohr-Punkte signifikant, verfehlte aber für die Links-Ohr-Punkte knapp die Signifikanzgrenzen (Tabelle E-8).

Tabelle E-8 N=44, Gesamtmodell, Ohrpunkte x temp. Pathologie x Anfalls-Ursprung

	Multi	Multi	Kor-	SQ	FG	MQ	SQ	FG	MQ	F	p
	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>	Modell	Mod	Mod	Res	Res	Res		
cROP	0,422	0,178	0,117	1292,98	3		5956,654	40		2,894	0,047
cLOP	0,392	0,154	0,090	357,06	3	119,02	1967,727	40	49,19	2,419	0,080

Daneben zeigte ein Levene-Test bei den Rechts-Ohr-Punkten inhomogene Varianzen an, womit die statistischen Voraussetzungen für eine ANOVA auf der Ebene der Ohr-Punkte verletzt wurden.

Tabelle E-9 N=44, Levene-Test, Varianzhomogenität der Rechts-Ohr-Punkte

	MQ	MQ	F	p
	Effekt	Fehler		
cROP	797,6891	46,13349	17,29089	0,000155
cLOP	63,8000	24,30301	2,62519	0,112665

Die Varianz-Inhomogenität in den Rechts-Ohr-Punkten geht darauf zurück, dass bei linksseitigem Anfalls-Ursprung die ROP sowohl für die laterale als auch für die mesiale Gruppe reduziert sind (SD linksseitig 8,9 u. 5,1 vs. SD rechtsseitig 18,8 u. 12,6 Tabelle C-7). Dies bedeutet, dass der Läsionseffekt bei linksseitiger Sprachlateralisation und linksseitiger temporaler Pathologie sich auch in einer generellen Verminderung der Variabilität der Rechts-Ohr-Punkte auswirkt.

Die Varianzanalyse zeigte einen signifikanten Haupteffekt für die Seite des Anfallsursprunges (SAU) und für den Messwiederholungsfaktor (R1, LOP, ROP), sowie die erwartete Wechselwirkung zwischen den Ohrpunkten und der Seite des Anfallsursprunges (R1 x SAU, Tabelle E-10). Die

veranschaulicht die Verhältnisse auf der Ebene der Ohrpunkte.

Tabelle E-10 N=44, Varianzanalyse, Ohr-Punkte x temporale Pathologie x Seite Anfall-Ursprung

N=44, Varianzanalyse, 3 Faktoren, R1=Messwiederholungsfaktor (Ohr-Punkte)					
	SQ	FG	MQ	F	p
Konstante	7520,419	1	7520,419	113,2454	0,000000
(SAU) Seite Anfallsursprung, li-re	277,342	1	277,342	4,1763	0,047617
(tP) temp Pathologie, mes -lat	1,127	1	1,127	0,0170	0,897003
SAU x tP	15,785	1	15,785	0,2377	0,628541
Fehler	2656,327	40	66,408		
R1 (Ohrpunkte, MessW), LOP -ROP	1421,562	1	1421,562	10,7938	0,002124
R1 (Ohrpunkte, MessW) x SAU	931,608	1	931,608	7,0736	0,011198
R1 (Ohrpunkte, MessW) x tP	158,790	1	158,790	1,2057	0,278755
R1 (Ohrpunkte, MessW) x SAU x tP	218,023	1	218,023	1,6554	0,205618
Fehler	5268,054	40	131,701		

Aufgrund der Varianz-Inhomogenität kann das Modell auf der Ebene der Ohrpunkte nicht weiter konklusiv interpretiert werden (Tabelle E-11). Deshalb wurden die post-hoc Tests mit dem parameterfreien Mann-Whitney U-Test für unabhängige Gruppen (mesial vs. lateral) durchgeführt (Tabelle E-12).

Auch bei parameterfreier Kontrastberechnung blieben die Befunde erhalten. Bei linksseitigem Anfallsursprung kommt es bei lateraler Pathologie zu einer signifikanten Abnahme der ROP und gleichzeitig zu einer signifikanten Zunahme der LOP. Bei rechtsseitigem Anfallsursprung unterschieden sich die Gruppen mesial vs. lateral nicht.

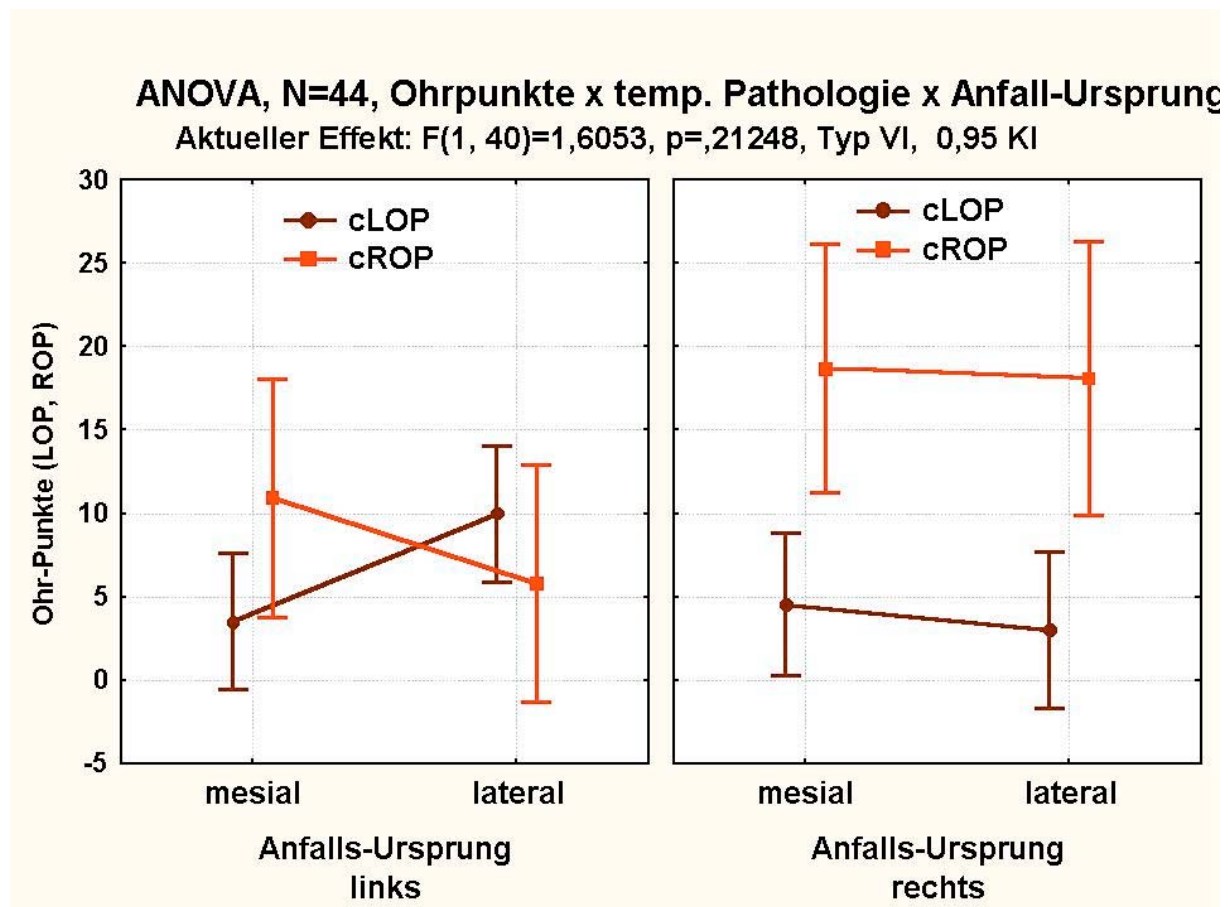


Abbildung E-2 ANOVA, N=44, Ohr-Punkte x temp. Pathologie x Anfalls-Ursprung

Auf der Ebene der Ohrpunkte zeigte sich bei linksseitigem Anfallsursprung numerisch in der lateralen gegenüber der mesialen Gruppe eine Abnahme der ROP und eine Zunahme der LOP. Die Balken stellen 95% Konfidenzintervalle (KI) dar.

Bereits auf der Ebene der Ohr-Punkte war bei linksseitiger Pathologie (Hypothese E.1-1) die  $H_0$  zu verwerfen und die  $H_1$  anzunehmen, während bei rechtsseitiger Pathologie (Hypothese E.1-2) die  $H_0$  beibehalten werden konnte.

Tabelle E-11 Kontraste mesial vs. lateral, t-Tests, Ohrpunkte

	t-Test, Mittelwerte					Varianzen			
	MW1	MW2	t-Wert	FG	p	SD1	SD2	F-Quot	p
<b>Anfallsursprung links</b>									
	<b>mesial</b>	<b>lateral</b>				<b>mesial</b>	<b>lateral</b>		
<b>N</b>	12	12				12	12		
<b>cROP</b>	10,92	5,67	-1,777	22	0,089	8,87	5,10	3,017	0,080
<b>cLOP</b>	3,50	10,00	2,261	22	0,034	5,16	8,52	2,724	0,111
<b>Anfallsursprung rechts</b>									
	<b>mesial</b>	<b>lateral</b>				<b>mesial</b>	<b>lateral</b>		
<b>N</b>	9	11				9	11		
<b>cROP</b>	18,73	18,11	-0,084	18	0,934	18,83	12,55	2,249	0,263
<b>cLOP</b>	4,55	3,00	-0,493	18	0,628	8,97	3,00	8,941	0,005

Tabelle E-11 Der post-hoc t-Test für die Rechtsohrpunkte bei linksseitigem Anfallsursprung zeigte die erwartete Tendenz für die Abnahme der Rechts-Ohr-Punkte bei lateraler Pathologie (bei bestehender Varianz -Inhomogenität). Gleichzeitig nahmen in der lateralen Gruppe auch die Links-Ohr-Punkte signifikant zu. Bei rechtsseitigem Anfallsursprung ergaben sich keine Mittelwertsunterschiede.

Tabelle E-12 Kontraste mesial vs. lateral, Mann-Whitney U-Tests, Ohrpunkte

Mann-Whitney U-Test					
	Rangsumme		U	Z	p
Anfallsursprung links					
	mesial	lateral			
N	12	12			
cROP	116,0	184,0	38,0	-1,963	0,0487
cLOP	187,0	113,0	35,0	2,136	0,0304
Anfallsursprung rechts					
	mesial	lateral			
N	9	11			
cROP	99,0	111,0	45,0	0,342	0,7319
cLOP	98,5	111,5	45,5	0,304	0,7581

Der signifikante Anstieg der Links-Ohr-Punkte bei linksseitiger Pathologie in der temporo-lateralen Gruppe war nicht erwartet worden (Tabelle E-12).

### E.1.4.2 Varianzanalyse der Lambda-Werte in den 4 Untersuchungsgruppen

Erwartungsgemäß zeigte die links-laterale Gruppe die niedrigsten Lambda-Werte, die im Mittelwert sogar im negativen Bereich lagen ( $\lambda = -0,56$ ). D. h. es gab in dieser Gruppe im Mittel mehr LOP als ROP (Tabelle E-13).

Tabelle E-13 N=44, Deskriptive Daten, Lambda-Werte, in den 4 Untersuchungsgruppen

<b>Lamda10b</b>	<b>N</b>	<b>Lam10b</b>	<b>Lam10b</b>
		<b>MW</b>	<b>SD</b>
<b>Gesamt</b>	44	0,94	2,01
<b>links</b>	24	0,42	1,93
<b>rechts</b>	20	1,56	1,97
<b>mesial</b>	23	1,40	1,89
<b>lateral</b>	21	0,43	2,06
<b>links-mesial</b>	12	1,40	1,46
<b>links-lateral</b>	12	-0,56	1,90
<b>rechts-mesial</b>	11	1,41	2,34
<b>rechts-lateral</b>	9	1,74	1,52

Die Lambda-Werte in den 4 Gruppen hatten homogene Varianzen (Levene  $F=1,314$ ,  $p=0,283$ ) und das globale varianzanalytische Modell war signifikant ( $F=3,78$ ,  $p=0,017$ ). Die ANOVA zeigte signifikante Effekte für die Seite des Anfallsursprunges (Haupteffekt SAU,  $F=4,35$ ,  $p=0,043$ ) und die Wechselwirkung zwischen SAU und der temporalen Pathologie (tP, mesial vs. lateral,  $F=4,29$ ,  $p=0,044$ ). Für linksseitigen Anfallsursprung waren die Kontraste signifikant ( $F_{(1,40)}=6,941$ ,  $p=0,011$ ), während dies bei einem rechtsseitigen Anfallsursprung nicht der Fall war ( $F_{(1,40)}=0,166$ ,  $p=0,685$ ).

Die ANOVA auf der Ebene der Lambda-Werte zeigte, dass nur die linksseitige laterale Gruppe signifikant reduzierte Lambda-Werte aufwies (vergl. Abbildung E-3 )



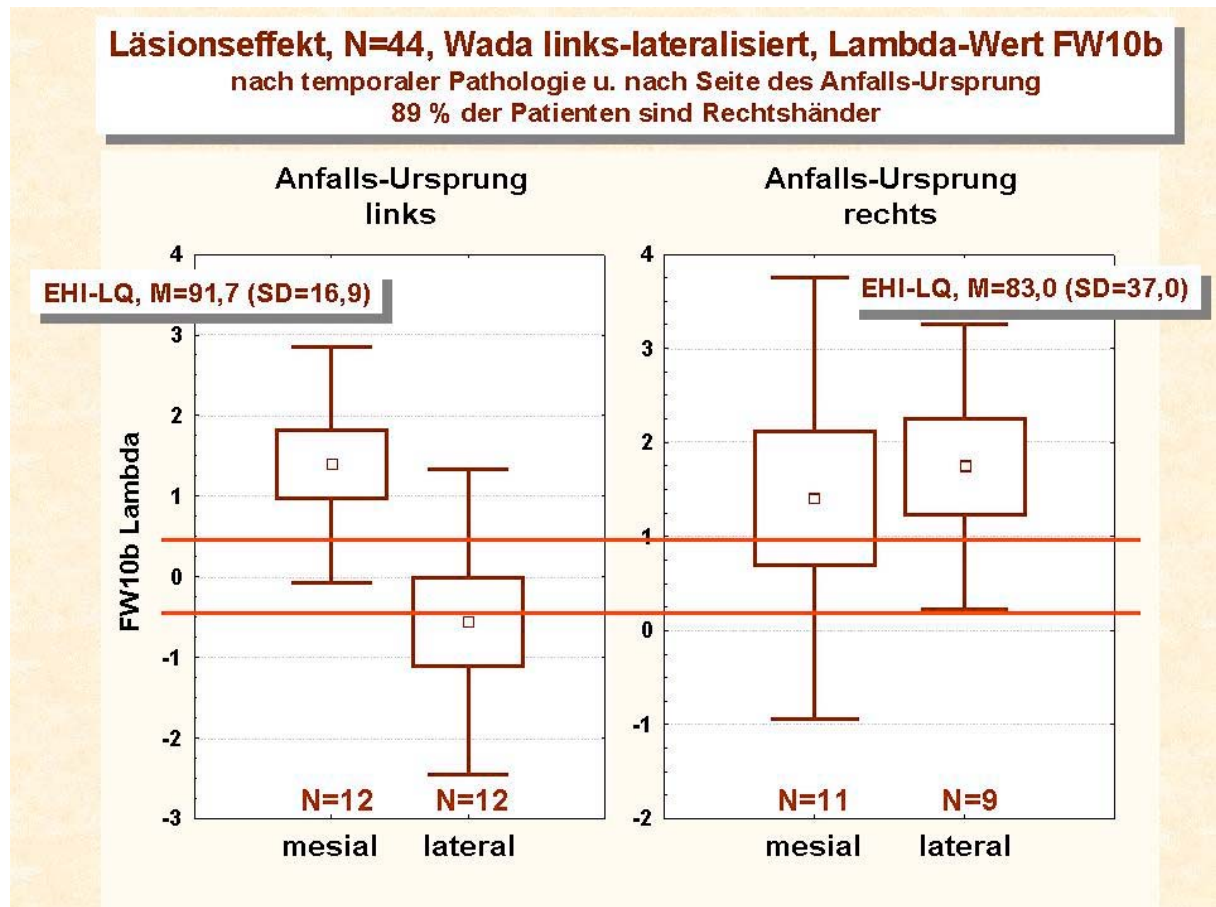


Abbildung E-3 N=44, Läsionseffekt, Lambda-Werte bei linksseitiger Wada-Sprachdominanz

Läsionseffekt in den Lambda-Werten. Bei linksseitigem Anfalls-Ursprung und mesialer Pathologie wird im Durchschnitt noch ein positiver Lambda-Wert erreicht. In der Gruppe mit linksseitigem Anfalls-Ursprung und lateraler Pathologie sinkt der Lambdawert signifikant ab. Oberhalb der oberen und unterhalb der unteren roten Linie ( $\lambda > +0,39$ , und  $\lambda < -0,39$ ) liegen signifikante Links- bzw. Rechtslateralisierungen der Sprache (Kriterium nach der rechtshändigen Referenzstichprobe vgl. D.5.4).

Auch auf der Ebene der Lambda-Werte war bei linksseitiger Pathologie (Hypothese E.1-1) die  $H_0$  zu verwerfen und die  $H_1$  anzunehmen, während bei rechtsseitiger Pathologie (Hypothese E.1-2) die  $H_0$  beibehalten werden konnte.

### E.1.5 Diskussion

Die Analyse zeigte, dass sich bei linksseitigen temporalen Läsionen und bei linksseitiger Sprachlateralisierung deutliche Effekte auf das Lateralisierungsergebnis auch in einem dichotischen Test nach dem "fused words"-Prinzip ergeben. Bei rechtsseitigen temporalen Läsionen entsprach das dichotische Ergebnis dem Lateralisationsergebnis aus dem Wada-Test. Die Läsionseffekte bei links-temporalen Läsionen bestehen zunächst - sowohl für die mesiale als auch für die laterale Gruppe - in einer Reduktion der Variabilität der Rechts-Ohr-Punkte. Daneben kam in der lateralen Gruppe die erwartete signifikant verminderte Anzahl von Rechts-Ohr-Punkten zur Darstellung.

Die Einbeziehung von neocortikalen und anderen extra-hippocampalen Strukturen in die temporalen Läsionen scheint demnach eine entscheidende Rolle für die Unterdrückung der Antworten vom kontralateralen (rechtsseitigen) Ohr zu spielen. Auch in der Gruppe mit den linksseitigen Hippocampus-Sklerosen war gegenüber den rechtsseitigen Hippocampus-Sklerosen in milderer Form eine Reduktion der Rechts-Ohr-Punkte zu beobachten, jedoch kam es in dieser Gruppe nicht zum gleichzeitigen Anstieg der Links-Ohr-Punkte.

Der Anstieg der Links-Ohr-Punkte in der links-lateralen Gruppe erscheint plausibel und ist im Zusammenhang mit einer kompensativen teilweisen Verlagerung von Sprachfunktionen auf die rechte Hemisphäre zu interpretieren, die aber noch nicht das Ausmaß erreicht, um sich im Wada-Test als Bilateralität darzustellen. Dass sich bei einer über Jahre entwickelnden dynamischen linksseitigen Läsion (Rasmussen Enzephalitis) Sprachfunktionen auch noch im Alter zwischen 9 und 15 Jahren auf die rechte Hemisphäre verlagern, haben Loddenkemper et al. (2003, [85]) anhand wiederholt durchgeführter Wada-Tests beschrieben.

Nach den Ergebnissen der vorliegenden Studie ist anzunehmen, dass die widersprüchlichen Befunde in der Literatur hinsichtlich der fraglichen Läsionseffekte bei Fused-Words-Tests auf den Ein- oder Ausschluß von Patienten mit extra-hippocampalen Läsionen auf der sprachdominanten Seite zurückzuführen sind.

Auch beim Einsatz dichotischer Tests nach dem Fused-Words-Prinzip ist bei Patienten mit Hirnläsionen mit systematischen Läsionseffekten zu rechnen. Sie erschweren in

diesen Gruppen die Interpretation der individuellen Sprachlateralisationsverhältnisse und machen den Einsatz zusätzlicher Sprachlateralisierungsmethoden erforderlich.

Gleichzeitig wird durch die Läsionseffekte auch die Problematik aufgeworfen, den Wada-Test, der nahezu ausschließlich bei chirurgischen Kandidaten durchgeführt wird, überhaupt als Lateralisierungskriterium für einen dichotischen Test heranzuziehen.

## F Zusammenfassung

**Testentwicklung:** Zur Erfassung der Sprachlateralisierung in der präoperativen epilepsiechirurgischen Diagnostik wurde ein deutscher dichotischer Hörtest entwickelt und erprobt. Der Test ist nach dem Prinzip synchronisierter Reimwörter aufgebaut (Fused Rhymed Words Test, FRWT). Zeitgleich werden dabei über Kopfhörer zwei verschiedene, aber reimende Wörter dargeboten (z. B. Topf - Kopf), von denen der Proband glaubt, nur eines zu hören. Da das Wahrnehmungsergebnis bei dieser konkurrierenden Sprach-Wahrnehmungsaufgabe von der Sprachlateralisierung des Probanden mitbestimmt wird, kann diese Technik eingesetzt werden, um die Sprachlateralisierung diagnostisch zu erfassen. Ein dichotischer Hörtest nach diesem Testprinzip stellt vergleichsweise geringe Anforderungen an den Probanden, er ist nicht-invasiv, hat nur geringe geräte-technische Voraussetzungen, er ist billig und er kann problemlos wiederholt werden. Kanadische Studien konnten die Ergebnisse der Sprachlateralisierung durch einen Wada-Test wiederholt mit einem FRWT valide replizieren. Aus digital bearbeiteter natürlicher Sprache wurde eine Vorfassung mit 56 Items zunächst auf 21 und dann auf 10 Items reduziert (FW10b).

Der Test FW10b besteht aus 10 dichotischen Paaren (Items) und somit aus 20 verschiedenen Wörtern. In einem ersten Testabschnitt wird zur Überprüfung der Intaktheit der Worterkennung auf jedem Ohr jedes Wort unilateral dargeboten. Daran schließen sich 8 Durchgänge mit den 10 dichotischen Items in jeweils 2 Orientierungen an ( $2 \times 10 \times 8 = 160$  dichotische Items). Die Darbietung erfolgt über Kopfhörer durch PC und Soundkarte. Die Präsentation des jeweils nächsten Items wird vom Probanden oder vom Untersucher über das Keyboard ausgelöst, wodurch sich das Darbietungstempo individuell anpassen lässt. Die Wortauswahl wird auf dem Bildschirm dargeboten und die Reaktionen erfolgen über das Keyboard. Es wird ein Datensatz mit den Reaktionen erzeugt, der durch ein SPSS Programm ausgewertet wird. Die Durchführungsdauer des Tests variiert mit dem Bearbeitungstempo des Probanden und liegt etwa bei 17 - 20 min (200 Items zu je ca. 5,6 sek entsprechen 18,5 min).

**Test-Gütekriterien:** In Untersuchungen an gesunden männlichen und weiblichen rechtshändigen Probanden ließen sich wiederholt die erwarteten Rechts-Ohr-Vorteile beobachten, die eine Links-Lateralisierung der Sprache anzeigen. Auf der Ebene der Individualdiagnostik liegt eine Wahrnehmungsasymmetrie vor, wenn die Differenz zwischen rechten und linken Ohr-Punkten mindestens 13 beträgt und ihr Verhältnis mindestens 2:1 ist ( $\lambda \geq 10,6505$  I).

Als Schätzung für die Reliabilität wurde eine zufriedenstellende innere Konsistenz von  $\alpha=0,89$  beobachtet. Die Re-Test-Reliabilität bei männlichen und weiblichen Probanden lag für den Lateralitäts-Index Lambda in verschiedenen Untersuchungen im Abstand von 2 Wochen im Bereich von  $r_{tt}=0,67$  bis  $r_{tt}=0,87$ . In mehreren Untersuchungen konnte eine Abhängigkeit des dichotischen Lateralisationsergebnisses vom Hormonzyklus bei Frauen nicht nachgewiesen werden. Obwohl die Hormonkonzentrationen nicht bestimmt wurden, sind die Effekte der Zykluslage auf das Lateralisierungsergebnis im vorliegenden dichotischen Test als vernachlässigbar einzuschätzen.

In der Literatur ist eine schwächere Sprachlateralisierung bei Frauen gut dokumentiert und dies ist auch an sehr großen Gruppen mit dichotischen Tests demonstriert worden. In keiner der vorliegenden Studien an kleineren Gruppen ließ sich ein differentieller Geschlechtseffekt nachweisen.

Der dichotische Test FW10b korrelierte hoch mit einem Paralleltest ( $r=.73$ , FW12k) und die Lateralisierung in den Kategorien links, rechts und bilateral stimmte zu über 90% zwischen den beiden Tests überein. Es bestanden keine Unterschiede in der Lateralisierungsstärke zwischen den beiden Tests.

Als Validitätsnachweis für einen dichotischen Test ist die Orientierung am Wada-Test problematisch, da in der Regel ein Wada-Test nur bei Patienten mit hirnorganischen Veränderungen zum Einsatz kommt. Funktionelle und morphologische Läsionen beeinflussen jedoch das Lateralisierungsergebnis dichotischer Tests. Mit dem vorliegenden dichotischen Stimulusmaterial wurde zwar eine hohe prozentuale Übereinstimmung zwischen der Klassifikation im Wada-Test und der Klassifikation im dichotischen Test erreicht.

tischen Test beobachtet (91%), das Ergebnis kann jedoch nicht auf alle klinischen Gruppen generalisiert werden. Je nach Art und Lokalisation von strukturellen Läsionen können sich differentielle Effekte im dichotischen Hörtest ergeben. Mit dem dichotischen Test FW10b wurde in einer Studie am MPI für neuropsychologische Forschung in Leipzig eine Übereinstimmung mit einem fMRT Paradigma in der Höhe von 97% gefunden (Hund-Georgiadis et al 2002, [50]).

**Dichotisches Hören und motorische Asymmetrien:** In der Theorie von Previc (1991, [63]) erfahren Kinder im letzten Drittel der Schwangerschaft auf Grund ihrer besonderen intrauterinen Lage eine asymmetrische vestibuläre Stimulation der linken macula utriculi, durch die die spätere Rechtshändigkeit vorgebahnt wird. Entsprechend sollten sich Assoziationen zwischen motorischen Asymmetrien (Händigkeit und rotatorische Tendenzen im Unterberger Tretversuch) und dem dichotischen Hören ergeben. Reiß & Reiß (1998, [75]) hatten zwischen einem dichotischen Test und dem Unterberger Tretversuch sogar eine höhere Korrelation beobachtet als zwischen dem dichotischen Test und der Händigkeit. Obwohl in der vorliegenden Untersuchung bei N=33 Probanden eine Assoziation zwischen der Händigkeit und dem rotatorischen Verhalten beobachtet werden konnte, bestand zwischen den Drehtendenzen im Unterberger Tretversuch und dem dichotischen Test FW10b kein Zusammenhang.

In den homogenen rechtshändigen Untersuchungsgruppen zeigte sich die erwartete Assoziation des Rechts-Ohr-Vorteils im dichotischen Test mit der Rechtshändigkeit. Unter Rechtshändern (Händigkeit  $EHI_{LQ} \geq 60$ ) erreichten 70% einen ROV, 23% einen LOV und bei 7% wurde kein Ohrvorteil beobachtet.

Bei einer Gruppe mit variierender Händigkeit (N=22) bestand eine hohe Assoziation zwischen dem Lateralitätsquotient der Händigkeit ( $EHI_{LQ}$ ) und dem Lateralitätsindex Lambda aus dem dichotischen Test FW10b ( $R=0,76$ ,  $r=0,72$ ). In dieser Korrelation kommt der höhere Anteil bilateraler Sprachfunktionen unter non-dextralen Probanden zum Ausdruck.

**Läsionseffekte:** Der wichtigste Läsionseffekt beim dichotischen Hören besteht darin, dass die Stimuli auf dem zur Läsion kontralateralen Ohr schlechter wahrgenommen werden. Für Tests nach dem "fused words"-Prinzip gibt es jedoch Publikationen an epilepsiechirurgischen Kandidaten, bei denen Läsionseffekte nicht beobachtet wurden. Allerdings wurden in diesen Studien Patienten mit extra-hippocampalen Temporallappenläsionen ausgeschlossen, von denen gerade die stärksten Effekte auf das dichotische Hören zu erwarten gewesen wären. Zur Klärung der Frage, welche Läsionseffekte bei Temporallappenläsionen zu erwarten sind, wurde eine Gruppe von N=44 epilepsiechirurgischen Kandidaten mit links- oder rechtsseitigen Temporallappenläsionen untersucht. Die Patienten wurden danach gruppiert, ob lediglich eine Hippocampus-Sklerose vorlag (temporo-mesiale Pathologie), oder ob die temporale Pathologie auch extrahippocampale Strukturen betraf (temporo-laterale Pathologie). Alle ausgewählten Patienten waren durch einen Wada-Test als unilateral links-hemisphärisch sprachdominant kategorisiert worden.

Bei den Patienten mit rechts-temporalen Läsionen entsprach das dichotische Lateralisierungsergebnis dem Lateralisierungsergebnis aus dem Wada-Test. Hier unterschieden sich die Untergruppen mesial vs. lateral nicht. Wie erwartet ergaben sich jedoch massive Läsionseffekte für die Patienten mit den Läsionen auf der linken sprachdominanten Seite. Sowohl in der mesialen als auch in der lateralen Untergruppe wurde die Variabilität in der Anzahl der Rechts-Ohr-Punkte eingeschränkt. Zusätzlich kam es in der lateralen Untergruppe zu einer signifikanten Abnahme der Rechts-Ohr-Punkte und gleichzeitig zu einem signifikanten Anstieg der Links-Ohr-Punkte. Es bestanden somit differentielle Effekte im dichotischen Hören zwischen den linksseitigen mesialen und den linksseitigen lateralen Läsionen.

Die Einbeziehung von neokortikalen und anderen extra-hippocampalen Strukturen in die temporalen Läsionen ist von entscheidender Bedeutung dafür, ob es zur Unterdrückung der Antworten vom kontralateralen (rechtsseitigen) Ohr kommt oder nicht. Die beobachtete Zunahme der Links-Ohr-Punkte in der links-lateralen Gruppe bedarf weiterer Untersuchungen. Falls es sich dabei um einen kompensatorischen Sprachfunktions-Shift auf die rechte Hemisphäre handeln sollte, ist nicht klar, warum diese

rechtshemisphärischen Sprachfunktionen nicht durch den Wada-Test erkannt werden.

**Ausblick:** Der neu entwickelte dichotische Test FW10b weist insgesamt Testgütekriterien auf, die mit dem amerikanischen FRWT vergleichbar sind. In Untersuchungsgruppen zeigt er eine deutliche statistische Assoziation mit der Händigkeit. Werden Patienten mit extra-hippocampalen Läsionen untersucht, muß bei der Interpretation des dichotischen Ergebnisses die Läsionskonstellation berücksichtigt werden. Für den Einsatz des Tests im Rahmen der präoperativen epilepsiechirurgischen Diagnostik sollte auch untersucht werden, welche Effekte vorausgehende Temporallappen-Anfälle auf das dichotische Lateralisationsergebnis haben. Hierzu wären die Patienten zu verschiedenen Abständen nach einem Temporallappenanfall zu untersuchen. Es ist zu erwarten, dass es auch bei ausschließlichen Hippocampus-Läsionen kurz nach einem Anfall, zu einer Unterdrückung des kontralateralen Ohres kommt.

Weitere Studien sind erforderlich, um die Robustheit des Tests gegenüber willentlichen Aufmerksamkeitslenkungen auf das eine oder andere Ohr zu untersuchen. Auch wäre es interessant zu wissen, in wie weit es für die Probanden möglich ist, die dichotischen Stimulationen Topf-Kopf bzw. Kopf-Topf von den binauralen Stimulationen Topf-Topf bzw. Kopf-Kopf zu unterscheiden.

Aus der bereits jahrelangen praktischen Erfahrung mit dem Test FW10b ergaben sich Hinweise dafür, dass Raumgeräusche generell den dichotischen Effekt abschwächen. Studien hierzu könnten weitere Empfehlungen für die Darbietung des Tests geben (offene oder geschlossene Kopfhörer). Schließlich soll der Test, dessen Programme gegenwärtig ausschließlich auf einer echten DOS Ebene laufen, auf die Windows Ebene übertragen werden, um ihn zu publizieren.



## G Literaturverzeichnis

- [01] Gerull G & Mrowinski D (1984) Brainstem potentials evoked by binaural click stimuli with differences in interaural time and intensity. *Audiology*. 23, 265-276.
- [02] Broadbent DE (1954) The role of auditory localization in attention and memory span. *Journal of Experimental Psychology*. 47, 191-196.
- [03] Kimura D (1961) Some effects of temporal lobe damage on auditory perception. *Canadian Journal of Psychology*. 15, 156-165.
- [04] Kimura D (1961) Cerebral dominance and the perception of verbal stimuli. *Canadian Journal of Psychology*. 15, 166-171.
- [05] Milner B, Gazzaniga M, Sperry RW (1968) Lateralized Suppression of dichotically presented digits after commissural Section in man. *Science*. 161, 184-186.
- [06] Springer SP, Gazzaniga MS (1975) Dichotic listening in partial and complete split brain patients. *Neuropsychologia*. 13, 341-346.
- [07] Williams SM (1989) A journal bibliography on behavioural dichotic laterality for natural speech in normal subjects. *Cortex*. 25, 523-528.
- [08] Hugdahl K & Hammar A (1997) Test-retest reliability for the consonant-vowel syllables dichotic listening paradigm. *J Clin Exp Neuropsychol*. 19, 667-75.
- [09] Studdert-Kennedy M & Shankweiler D (1970) Hemispheric specialization for speech perception. *Journal of the Acoustical Society of America*. 48, 579-594.
- [10] Wexler BE & Halwes T (1983) Increasing the power of dichotic methods: the fused rhymed words test. *Neuropsychologia*. 21, 59-66.
- [11] Asbjornsen A E & Bryden MP (1996) Biased attention and the fused dichotic words test. *Neuropsychologia*. 34, 407-411.
- [12] Loring DW, Meador KJ, Lee GP, King D (1992) *Amobarbital Effects and Lateralized Brain Functions The Wada Test*. Springer-Verlag, New York, Berlin u. a.
- [13] Zatorre RJ (1989) Perceptual Asymmetry On The Dichotic Fused Words Test And Cerebral Speech Lateralization Determined By The Carotid Sodium Amytal Test. *Neuropsychologia*. 27, 1207-1219.

- [14] Johnson JP, Sommers RK and Weidner WE (1977) Dichotic ear preference in aphasia. *Journal of Speech and Hearing Research*. 20, 116-129.
- [15] Halwes T (1969) Effects of dichotic fusion on the perception of speech. Supplement to status report on speech research. Haskins Laboratories. New Haven, Conn.
- [16] Halwes T (1986) Developing a noninvasive measure of speech lateralization: an efficient scoring algorithm. Unpublished manuscript. University of Colorado.
- [17] Speaks C, Niccum N, Carney E & Johnson C (1981) Stimulus dominance in dichotic listening. *Journal of Speech and Hearing Research*. 24, 430-437.
- [18] Jäncke L (1992) Ein deutscher dichotischer Konsonant-Vokal-Recall- und Monitoring-Test. Reliabilität und Vergleich beider Prozeduren. *Zeitschrift für Neuropsychologie*. 3, 143-156.
- [19] Berlin C, Lowe-Bell S, Cullen J, Thompson C & Loovis C (1973) Dichotic speech perception. An interpretation of right-ear advantage and temporal offset effects. *Journal of the Acoustical Society of America*. 53, 699-709.
- [20] Diesch E (1997) SpeechLab: PC software for digital speech signal processing. *Behavior research methods, instruments, and computers*. 29, 302.
- [21] Wale J & Geffen G (1986) Hemispheric specialization and attention. Effects of complete and partial callosal section and hemispherectomy on dichotic monitoring. *Neuropsychologia*. 24, 483-496.
- [22] Alexander MP & Warren RL (1988) Localization of callosal auditory pathways. A CT case study. *Neurology*. 38, 802-804.
- [23] Eslinger PJ, Damasio H (1988) Anatomical correlates of paradoxical ear extinction. Kap. 6. Hrsg.: Hugdahl K: John Wiley & Sons, New York.
- [24] Musiek FE, Reeves AG, Baran JA (1985) Release from central auditory competition in the split brain patient. *Neurology*. 35, 983-987.
- [25] Pfanzagl J (1962) Höhere Methoden unter besonderer Berücksichtigung der Anwendung. Hrsg.: In.: De Gruyter, Berlin.
- [26] Bryden MP, Sprott DA (1981) Statistical determination of degree of laterality. *Neuropsychologia*. 19, 571-581.
- [27] Speaks CE 1988 Statistical properties of dichotic listening scores. Chap. 8. Hrsg.: In. Hugdahl K (Ed.): New York, John Wiley & Sons.
- [28] Harshman RA, Lundy ME (1988) Can dichotic listening measure degree of latera

- lization ?. Hrsg.: In. Hugdahl K : Wiley, NY.
- [29] Fernandes MA & Smith ML (2000) Comparing the fused Dichotic words Test and the Intracarotid Amobarbital Procedure in children with epilepsy. *Neuropsychologia*. 38, 1216-1228.
- [30] Satz P (1977) Laterality Tests. An Inferential Problem. *Cortex*. 13, 208-212.
- [31] Lienert GA & Raatz U (1998) Testaufbau und Testanalyse. Beltz, Weinheim.
- [32] Hiscock M, Cole LC, Benthall JG, Carlson VL, Ricketts JM (2000) Toward solving the inferential problem in laterality research. Effects of increased reliability on the validity of the dichotic listening right-ear advantage. *Journal of the international Neuropsychological Society*. 6, 539-547.
- [33] Teng EL (1981) Dichotic ear difference is a poor index for the functional asymmetry between the cerebral hemispheres. *Neuropsychologia*. 19, 235-240.
- [34] Gadea M, Gomez C, Espert R (2000) Tet-retest performance for the consonant-vowel dichotic listening test with and without attentional manipulations. *J Clin Exp Neuropsychol*. 22, 793-803.
- [35] Bryden MP (1988) An Overview over the dichotic listening procedure and its relation to cerebral organization. Hrsg.: Hugdahl K: John Wiley & Sons, New York .
- [36] Hampson E (1990a) Estrogen-related variations in human spatial and articulatory-motor skills. *Psychoneuroendocrinology*. 15, 97-111.
- [37] Hampson E (1990b) Variations in sex-related cognitive abilities across the menstrual cycle. *Brain and Cognition*. 14, 26-34.
- [38] Hampson M & Kimura D (1992) Sex differences and hormonal influences on cognitive function in humans. Hrsg.: Becker J, Breedlove M and Crews D: MIT-Press, London.
- [39] Altemus M, Wexler BE, Boulist N (1989) Changes in perceptual asymmetrie with the menstrual cycle. *Neuropsychologia*. 27, 233-240.
- [40] Alexander GM, Altemus M, Peterson BS, Wexler BE (2002) Replication of a premenstrual decrease in right-ear advantage on language-related dichotic listening tests of cerebral laterality. *Neuropsychologia*. 40, 1293-1299.
- [41] Hausmann M, Becker C, Gather U, Güntürkün O (2002) Functional cerebral asymmetries during the menstrual cycle: a cross-sectional and longitudinal analysis. *Neuropsychologia*. 40, 808-816.
- [42] Rabe T (1990) Gynäkologie und Geburtshilfe. VHC, München.

- [43] Oldfield, RC (1971) The assessment and analysis of handedness. The Edinburgh Inventory. *Neuropsychologia*. 9, 97-113.
- [44] Bem SL (1974) The measurement of psychological androgyny. *Journal of consulting and Clinical Psychology*. 42, 155-162.
- [45] Weekes NY (1993) The effects of steroid hormones on interhemispheric relations. Dissertation Proposals, 1-49. University of California Los Angeles.
- [46] Gothe J (1996) Entwicklung und Erprobung eines dichotischen Hörtests für Kinder zur Bestimmung der Sprachlateralisation. Diplomarbeit, Kognitionspsychologie. FU Berlin.
- [47] Hättig H & Beier M (2000) FRWT: Ein dichotischer Hörtest für Klinik und Forschung. *Zeitschrift für Neuropsychologie*. 11, 233-245.
- [48] Kurthen M, Helmstaedter C, Linke DB, Hufnagel A, Elger CE and Schramm J (1994) Quantitative and Qualitative Evaluation of Patterns of cerebral language dominance. An Amobarbital study. *Brain & Language*. 46, 536-564.
- [49] Meencke HJ, Hättig H, Dehnicke C, Lanksch W (1998) Spread and shift of the speech-relevant cortex in cases with early manifested tumors. Poster, Forum of European Neuroscience. Berlin, ENA.
- [50] Hund-Georgiadis M; Lex U; Friederici AD; v. Cramon DY (2002) Non-Invasive Regime for Language Lateralization in Right- and Left-Handers by means of Functional MRI and Dichotic Listening. *Experimental Brain Research*. 145, 166-176.
- [51] Benson DF (1985) Language in the left hemisphere. Hrsg.: Benson, F D & Zaidel, E: The Guilford Press, New York.
- [52] Geschwind N & Levitzky W (1968) Human Brain. Left - Right Asymmetry in Temporal Speech Region. *Science*. 161, 186-187.
- [53] Galaburda AM, Corsiglia J, Rosen GD, Sherman GF (1987) Planum Temporale Asymmetry, Reappraisal since Geschwind and Levitsky. *Neuropsychologia*. 25, 853-868.
- [54] Steinmetz H, Herzog A, Schlaug G, Huang Y, Jancke L (1995) Brain (a) symmetry in monozygotic twins. *Cerebral Cortex*. 5, 296-300.
- [55] Eckert MA, Leonard CM, Molloy EA, Blumenthal J, Zijdenbos A, Giedd JN (2002) The epigenesis of planum temporale asymmetry in twins. *Cerebral Cortex*. 12, 749-755.
- [56] Scheibel AB, Fried I, Paul L, Forsythe A, Tomiyasu U, Wechsler A, Kao A, and

- Slotnik J (1985) Differentiating characteristics of the human speech cortex. a quantitative Golgi study. Hrsg.: Benson DF & Zaidel E: The Guilford Press, NY, London.
- [57] Geschwind N, Galaburda AM (1987) Cerebral Lateralization. Biological Mechanisms, Associations and Pathology. A Bradford Book, MIT Press, Cambridge, Mass. USA.
- [58] Yeni-Komshian GH, Benson D (1976) Anatomical study of cerebral asymmetry in the temporal lobe of humans, chimpanzees, and rhesus monkeys. *Science*. 192, 3837-389.
- [59] Lemay M & Geschwind N (1975) Hemispheric differences in the brains of great apes. *Brain Behavior and Evolution*. 11, 48-52.
- [60] Lehman RAW (1993) Manual Preference in Prosimians, Monkeys and Apes. Kap. 6. Hrsg.: Ward JP & Hopkins WD: Springer Verlag, NY, Berlin u. a.
- [61] Corballis MC (1991) The Lopsided Ape. Evolution of the Generative Mind. Oxford University Press, NY.
- [62] Hines H & Gorski RA (1985) Hormonal Influences on the development of neural asymmetries. Hrsg.: Benson DF & Zaidel E: The Guilford Press, NY, London.
- [63] Previc F (1991) A General Theory Concerning the Prenatal Origins of Cerebral Lateralization in Humans. *Psychological Review*. 98, 299-334.
- [64] Cook, ND (1986) The Brain Code. Mechanisms of Information Transfer and the Role of the Corpus Callosum. Methuen, NY.
- [65] Biliographisches Institut Mannheim (1984) Wie funktioniert das? Der Mensch und seine Krankheiten. Ein Meyer-Nachschlagewerk. Meyers Lexikonverlag, Mannheim.
- [66] Agnew N & Demas M (1999) Rettung der Hominiden-Spuren von Laetoli. *Spektrum der Wissenschaften*. 1, 62-71.
- [67] Hellige JB (1993) Hemispheric Asymmetrie. What's Right and What's Left. Harvard University Press, Cambridge, Mass. USA.
- [68] Unterberger S (1938) Neue objektiv registrierbare Vestibularis-Körperdrehreaktion, erhalten durch Treten auf der Stelle. Der Tretversuch. *Archiv für Ohren-, Nasen- u. Kehlkopfheilkunde*. 145, 478-492.
- [69] Coren S & Searleman A (1990) Birth Stress and Left-Handedness: The Rare Trait

- Marker Model. Hrsg.: Coren S: North-Holland & Elsevier Science Pub. Co , Amsterdam, New York, Oxford, Tokyo.
- [70] Sohmer H, Freeman S (2001) The pathway for the transmission of external sounds into the fetal inner ear. *J Basic Clin Physiol Pharmacol.* 12 Sup2, 91-99.
- [71] Gerhardt KJ, Abrams RM (1996) Fetal hearing: characterization of the stimulus and response. *Semin Perinatol.* 20, 11-20.
- [72] Springer PS & Deutsch G (1998) Linkes - Rechtes Gehirn. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg.
- [73] Pujol J, Vendrell P, Junque C, Marti-Vilaltra JL, Capdevila A (1993) When does human brain development end? Evidence of corpus callosum growth up to adulthood. *Annals of Neurology.* 34, 71-75.
- [74] Lassonde M & Jeeves MA (1994) Callosal Agenesis. A Natural Split-Brain?. Plenum, NY,.
- [75] Reiß M & Reiß G (1998) Die funktionelle Asymmetrie des Vestibulärorganes. Die Beziehung zu verschiedenen Lateralitätsparametern. *Zeitschrift für Neuropsychologie.* 9, 133-138.
- [76] Reiß M & Reiß G (1997) Further aspects of the asymmetry of the stepping Test. *Perceptual and Motor Skills.* 85, 1344-1346.
- [77] Bryden MP, McManus IC, Bulman-Fleming B, (1994) Evaluation the empirical support for the Geschwind-Gehan-Galaburda Model of cerebral Lateralization. *Brain and Cognition.* 26, 102-167.
- [78] Scholtz HJ, Kunath H (1978) Zur Durchführung des Tretversuches nach Unterberger. *HNO- Praxis.* 3, 266-271.
- [79] Hugdahl K, Andersson L, Asbjornsen A, Dalen K (1990) Dichotic listening, forced attention, and brain asymmetry in righthanded and lefthanded children. *J Clin Exp Neuropsychol.* 12, 539-548.
- [80] McGlone J & Davidson D (1973) The relationship between speech laterality and spatial ability with special reference to sex and hand preference. *Neuropsychologia.* 11, 105-114.
- [81] McGlone J (1980) Sex Differences in Human Brain Organization: A Critical Survey. *Behavioural and Brain Sciences.* 3, 215-227.
- [82] Shaywitz BA, Shaywitz SE, Pugh KE, Constable RT, Skundlarski P, Fulbright RK, Bronen RA, Fletcher JM, Shankweiler DP, Katz L, Gore JC (1995) Sex differen

- ces in the functional organization of the Brain for language. *Nature*. 373, 607-609.
- [83] Schulhoff C & Goodglass H (1996) Dichotic listening, side of brain injury and cerebral dominance. *Neuropsychologia*. 7, 149-160.
- [84] Hashimoto R, Homae F, Nakajama K, Miyashita Y, Sakai KL (2000) Functional differentiation in the human auditory and language areas revealed by a dichotic listening task. *NeuroImage*. 12, 147-158.
- [85] Loddenkemper T, Wyllie E, Lardizabal D, Stanford LD, Bingaman W (2003) Late language Transfer in Patients with Rasmussen Encephalitis. *Epilepsia*. 44, 870-871.

## H Anhang

## Anhang H 1 Die 21 Wortpaare der Serie FW21a

1	2	3	4a	4b	5a	5b	6a	6b	7a	7b	FW 10a	FW 10b
01	04	O	(0)	Tod	5	Lot	3	Boot	(2)	Kot		
02	09	O	3	Knick	7	Blick	(8)	Klick	(0)	Trick	A	B
03	21	U	7	Spott	5	Gott	(2)	Pott	(6)	Trott		B
04	30	O	3	Mais	(2)	Preis	(6)	Kreis	5	Reis		B
05	26	O	7	Zoo	5	Floh	(8)	Klo	(0)	Po		
06	33	O	(8)	Dach	5	Fach	(6)	Bach	3	Krach		
07	36	U	(6)	Drei	(8)	Blei	7	Hai	9	Mai	A	B
08	44	O	(6)	Grau	(2)	Blau	5	Frau	7	Stau	A	
09	19	O	1	Gracht	(6)	Tracht	(8)	Pracht	9	Fracht	A	
10	16	U	1	Keil	3	Beil	(4)	Pfeil	(6)	Teil	A	
11	11	O	1	Flug	(2)	Krug	(0)	Trug	7	Pflug	A	
12	08	U	(0)	Knauf	1	Kauf	(4)	Trauf	5	Lauf	A	
13	32	O	5	Huld	(0)	Pult	(2)	Kult	1	Schuld		B
14	28	U	3	Rost	7	Most	(2)	Kost	(4)	Post		
15	26	U	(8)	Po	(6)	Klo	3	Zoo	5	Floh		
16	43	U	(8)	Bier	(6)	Gier	7	Tier	3	Zier		B
17	35	O	9	Gang	(8)	Dank	(2)	Bank	3	Schwank		
18	28	O	9	Rost	(6)	Post	(8)	Kost	7	Most		
19	22	U	5	Krug	(6)	Trug	(2)	Pflug	1	Lug	A	
20	05	O	5	Zopf	(4)	Topf	(6)	Kopf	7	Tropf	A	B
21	07	O	(8)	Kran	1	Bahn	(6)	Tran	3	Wahn		B
22	27	O	1	Sol	5	Wohl	(6)	Kohl	(4)	Pol	A	B
23	22	O	(6)	Pflug	(4)	Trug	1	Krug	7	Lug	A	
24	44	U	(0)	Grau	(4)	Blau	9	Frau	7	Stau	A	
25	36	O	(0)	Blei	9	Hai	(2)	Drei	3	Mai	A	B
26	07	U	7	Bahn	(2)	Kran	(4)	Tran	5	Wahn		B
27	16	O	9	Keil	(8)	Pfeil	(4)	Teil	3	Beil	A	
28	30	U	(4)	Preis	7	Mais	(2)	Kreis	9	Reis		B
29	21	O	3	Spott	(4)	Trott	(6)	Pott	5	Gott		B
30	09	U	(6)	Trick	3	Blick	5	Knick	(0)	Klick	A	B
31	05	U	5	Tropf	1	Zopf	(4)	Kopf	(8)	Topf	A	B
32	27	U	(8)	Pol	7	Wohl	9	Sol	(4)	Kohl	A	B
33	11	U	(6)	Trug	5	Flug	(0)	Krug	3	Pflug	A	
34	04	U	3	Lot	(2)	Kot	9	Boot	(8)	Tod		
35	25	U	(0)	Kropf	3	Topf	(8)	Pfropf	1	Schopf		B
36	08	O	(4)	Trauf	1	Lauf	(6)	Knauf	9	Kauf	A	
37	19	U	1	Gracht	(2)	Tracht	3	Fracht	(0)	Pracht	A	
38	25	O	(6)	Kropf	5	Schopf	(2)	Pfropf	9	Topf		B
39	35	U	7	Gang	3	Schwan	(0)	Dank	(8)	Bank		
40	32	U	(2)	Kult	9	Huld	(8)	Pult	1	Schuld		B
41	33	U	(8)	Bach	1	Fach	(2)	Dach	7	Krach		
42	43	O	(6)	Bier	(8)	Gier	9	Tier	1	Zier		B

**Tabelle H-1:** Die Tabelle zeigt die 21 Wortpaare in der original (O) und der umgekehrten (U) Anordnung. Die Anordnung der Liste entspricht dem Protokoll des ersten von 4 Durchgängen für die Darbietung vom Tonband. In jeder Zeile befinden sich die beiden dargebotenen Worte (gerade Ziffern in Klammern) und die beiden Distraktoren (ungerade Ziffern). Dem linken Ohr wurde jeweils das Wort mit der kleineren der beiden geraden Ziffern dargeboten, dem rechten das Wort mit der größeren geraden Ziffer. Bei der PC-Darbietung war nach der auditiven Darbietung eines Items die entsprechende Zeile auf dem Bildschirm zu sehen. Die Kennzeichnung der dargebotenen Wörter (Ziffern in Klammern) entfiel selbstverständlich.



**Anhang H 2 Itemanalyse FW21a, Innere Konsistenz, ROP (E1)****Skala: Mittelwert= 21,7143 Stdabw.=15,2828 Gült. N:35 (fw21bei.sta)****Cronbach Alpha: ,890590 Standard. Alpha: ,877790, Mittl. Inter-Item-Korr.: ,279546**

<b>ROP</b>	<b>MW bei</b>	<b>Var. bei</b>	<b>Stdabw.</b>	<b>Itm-Ges.</b>	<b>Alpha b.</b>
<b>(N=35)</b>	<b>Ausschl.</b>	<b>Ausschl.</b>	<b>Ausschl.</b>	<b>Korrel.</b>	<b>Ausschl.</b>
<b>VAR19RE</b>	<b>20,54286</b>	<b>196,8767</b>	<b>14,03128</b>	<b>0,777686</b>	<b>0,877326</b>
<b>VAR11RE</b>	<b>19,97143</b>	<b>190,4849</b>	<b>13,80163</b>	<b>0,770860</b>	<b>0,876050</b>
<b>VAR4RE</b>	<b>20,28572</b>	<b>196,3184</b>	<b>14,01137</b>	<b>0,717617</b>	<b>0,878601</b>
<b>VAR7RE</b>	<b>20,62857</b>	<b>196,4621</b>	<b>14,01649</b>	<b>0,690633</b>	<b>0,879371</b>
<b>VAR8RE</b>	<b>20,42857</b>	<b>194,6449</b>	<b>13,95152</b>	<b>0,675815</b>	<b>0,879647</b>
<b>VAR9RE</b>	<b>20,54286</b>	<b>194,3053</b>	<b>13,93934</b>	<b>0,667141</b>	<b>0,879934</b>
<b>VAR21RE</b>	<b>20,71428</b>	<b>201,8041</b>	<b>14,20578</b>	<b>0,616546</b>	<b>0,882130</b>
<b>VAR16RE</b>	<b>20,74286</b>	<b>199,3339</b>	<b>14,11856</b>	<b>0,614945</b>	<b>0,881944</b>
<b>VAR27RE</b>	<b>19,62857</b>	<b>201,3192</b>	<b>14,18870</b>	<b>0,603867</b>	<b>0,882423</b>
<b>VAR5RE</b>	<b>19,51429</b>	<b>197,7927</b>	<b>14,06388</b>	<b>0,589657</b>	<b>0,882822</b>
<b>VAR25RE</b>	<b>21,11429</b>	<b>206,1012</b>	<b>14,35623</b>	<b>0,574739</b>	<b>0,883756</b>
<b>VAR44RE</b>	<b>20,31429</b>	<b>203,0727</b>	<b>14,25036</b>	<b>0,470064</b>	<b>0,887134</b>
<b>VAR22RE</b>	<b>20,60000</b>	<b>205,0400</b>	<b>14,31922</b>	<b>0,460605</b>	<b>0,887154</b>
<b>VAR30RE</b>	<b>20,57143</b>	<b>210,8163</b>	<b>14,51952</b>	<b>0,392808</b>	<b>0,888727</b>
<b>VAR28RE</b>	<b>21,20000</b>	<b>215,2457</b>	<b>14,67126</b>	<b>0,391478</b>	<b>0,888581</b>
<b>VAR32RE</b>	<b>21,08571</b>	<b>217,0498</b>	<b>14,73261</b>	<b>0,356847</b>	<b>0,889334</b>
<b>VAR35RE</b>	<b>21,54286</b>	<b>222,9910</b>	<b>14,93288</b>	<b>0,333757</b>	<b>0,890895</b>
<b>VAR36RE</b>	<b>20,68571</b>	<b>214,0441</b>	<b>14,63025</b>	<b>0,240929</b>	<b>0,894439</b>
<b>VAR43RE</b>	<b>21,34286</b>	<b>225,5396</b>	<b>15,01798</b>	<b>0,023195</b>	<b>0,895590</b>
<b>VAR33RE</b>	<b>21,11429</b>	<b>229,7012</b>	<b>15,15590</b>	<b>-0,146675</b>	<b>0,897731</b>

Anhang G-2: Die Itemnummern entsprechen den Nummern in der Tabelle Anhang G-1 Spalte 2. Die Items der Serie FW10b sind grau unterlegt.

### Anhang H 3 Itemanalyse, Innere Konsistenz, für Links-Ohr-Punkte (E1)

**Skala: Mittelwert= 4,05714 Stdabw.=7,25965 Gült. N:35 (fw21beier.sta)**

**Cronbach Alpha: ,897681 Standard. Alpha: ,905921 Mittl. Inter-Item-Korr.: ,399396**

LOP	MW bei	Var. bei	Stdabw.	Itm-Ges.	Alpha b.
(N=35)	Ausschl.	Ausschl.	Ausschl.	Korrel.	Ausschl.
VAR19LI	3,971429	46,48490	6,817984	0,911686	0,887502
VAR22LI	3,914286	42,70694	6,535055	0,900054	0,880786
VAR9LI	4,028572	49,17061	7,012176	0,855305	0,894367
VAR36LI	3,942857	46,45388	6,815708	0,845118	0,887909
VAR5LI	3,857143	42,63674	6,529681	0,818604	0,882843
VAR44LI	3,914286	45,04980	6,711915	0,804310	0,885859
VAR16LI	3,885714	43,41551	6,589045	0,795109	0,884115
VAR4LI	3,657143	41,08245	6,409559	0,773891	0,884237
VAR27LI	3,828571	42,31347	6,504880	0,757771	0,884782
VAR7LI	3,514286	40,02122	6,326233	0,712523	0,888952
VAR11LI	3,971429	48,77061	6,983596	0,600449	0,894141
VAR28LI	3,742857	46,99102	6,855000	0,447781	0,894959
VAR32LI	3,742857	47,44816	6,888263	0,432124	0,895235
VAR43LI	3,828571	47,79918	6,913695	0,416808	0,895548
VAR30LI	3,685714	46,90123	6,848447	0,316704	0,901486
VAR25LI	4,000000	50,40000	7,099296	0,225401	0,898846
VAR8LI	3,942857	49,88245	7,062751	0,205632	0,899432
VAR33LI	3,914286	50,19265	7,084677	0,137307	0,900843
VAR21LI	3,800000	49,93143	7,066217	0,122938	0,902691
VAR35LI	3,942857	51,42531	7,171144	-0,067794	0,904116

Anhang G-3: Die Itemnummern entsprechen den Nummern in der Tabelle Anhang G-1 Spalte 2.

## Anhang H 4 Neuropsychologische Testbatterie, Epilepsiechirurgie Berlin

### Screening:

Rey-Kopie	(nonverbale Funktionen)
Token Test	(verbale Funktionen)

### Kurzzeitgedächtnis:

Zahlen-Nachsprechen, vorwärts	(verbale Merkspanne)
Silben-Nachsprechen	(Lautdiskrimination)
Block-tapping vorwärts	(figurale Merkspanne)
BT 6	(figurale Merkspanne)

### Lernen/Langzeitgedächtnisbildung:

MAC	(Selbsteinschätzung Gedächtnis)
VLMT	(Listenlernen, langfristiger Abruf)
RFT	(figurale Gedächtnisbildung)

### Aufmerksamkeit:

FEDA	(Selbsteinschätzung Aufmerksamkeit)
TAP Alertness	(allgemeine Wachheit)
TAP Go/NoGo	(Wahlreaktion)
TAP geteilte Aufmerksamkeit	(geteilte Aufmerksamkeit)
TAP Arbeitsgedächtnis	

### IntelligenzSchätzung

WST	(Wortschatztest, IQ bildungsabhängig)
-----	---------------------------------------

### Exekutive Funktionen:

5-Punkte-Test	(Figuren generieren, figurale flüssigkeit)
Wortflüssigkeit aus LPS	(verbale Umstellfähigkeit, verbale Flüssigkeit)
Tiere aufzählen	Kategoriale Flüssigkeit)

### Arm, Hand- und Finger-Motorik):

MLS-Tapping	(Handgeschwindigkeit)
MLS kurze Stifte umstecken	(Finger-Hand Koordination)
MLS Pursuit Rotor	(Arm-Hand-Koordination)

### Sprachlateralisation:

Dichotischer Hörtest	(FW10b)
----------------------	---------

**Anhang H 5 Instruktion FW10B**

Während des folgenden Tests werden Ihnen über Kopfhörer nacheinander verschiedene Wörter dargeboten. Alle Wörter sind Substantive der deutschen Sprache. Ich werde Ihnen jetzt 20 Wörter vorlesen. Im Test sind keine anderen Wörter zu hören, als diese.

Topf	Kreis	Blei	Kohl	Tran
Pol	Bier	Pfropf	Trick	Preis
Kopf	Kult	Trott	Pult	Kran
Drei	Kropf	Pott	Klick	Gier

Alle Wörter, die ich gerade vorgelesen habe, kommen im Test gleich häufig vor. Der Test besteht aus zwei Teilen. Im ersten Teil werden Ihnen die Wörter entweder auf dem linken oder auf dem rechten Ohr dargeboten. Im zweiten Teil werden Ihnen die Wörter auf dem linken und dem rechten Ohr dargeboten. Nach jedem gehörten Wort erscheinen auf dem Monitor vier verschiedene Wörter. Sie sollen jeweils entscheiden, welches Wort Sie gerade über Kopfhörer gehört haben. Geben Sie die Nummer des Wortes, welches Sie gehört haben über die Tastatur ein. Dann drücken Sie zweimal die „Enter-Taste“. Daraufhin wird das nächste Wort dargeboten.

Jetzt beginnt der erste Teil des Testes. Ihnen werden die Wörter über Kopfhörer entweder auf dem linken oder dem rechten Ohr dargeboten. Entscheiden Sie jedes Mal, welches Wort Sie gehört haben und geben Sie das Ohr an, auf welchem Sie es gehört haben. Es folgt ein Durchgang, in dem jedes Wort zweimal vorkommt, auf jedem Ohr einmal.

(> Durchführung 1. Teil)

Jetzt beginnt der zweite Teil des Tests. Ihnen werden die Wörter über Kopfhörer auf beiden Ohren gleichzeitig dargeboten. Dabei haben wir die Wörter elektronisch verändert, so dass sie manchmal etwas unscharf klingen. Entscheiden Sie nach jedem gehörten Wort, welches der auf dem Monitor gezeigten Wörter Sie gehört haben und geben Sie die entsprechende Ziffer über die Tastatur ein. Es folgen 8 Durchgänge, in denen jedes Wort zweimal dargeboten wird.

(> Durchführung 2. Teil)

**Anhang H 6 Instruktion FW12K**

Während des folgenden Tests werden Ihnen über Kopfhörer nacheinander verschiedene Wörter dargeboten. Alle Wörter sind Substantive der deutschen Sprache. Ich werde Ihnen jetzt 24 Wörter vorlesen. Im Test sind keine anderen Wörter zu hören, als diese.

<b>Kopf</b>	<b>Kohl</b>	<b>Bau</b>	<b>Topf</b>	<b>Kabel</b>
<b>Bass</b>	<b>Tau</b>	<b>Krücke</b>	<b>Tuch</b>	<b>Dorn</b>
<b>Glut</b>	<b>Blut</b>	<b>Buch</b>	<b>Colt</b>	<b>Gabel</b>
<b>Braut</b>	<b>Kraut</b>	<b>Gold</b>	<b>Gasse</b>	<b>Kasse</b>
<b>Pass</b>	<b>Pol</b>	<b>Brücke</b>	<b>Korn</b>	

Alle Wörter, die ich gerade vorgelesen habe, kommen im Test gleich häufig vor. Der Test besteht aus zwei Teilen. Im ersten Teil werden Ihnen die Wörter entweder auf dem linken oder auf dem rechten Ohr dargeboten. Im zweiten Teil werden Ihnen die Wörter auf dem linken und dem rechten Ohr dargeboten. Nach jedem gehörten Wort werden Ihnen Abbildungen gezeigt. Sie sollen jeweils entscheiden, welches Wort Sie gerade über Kopfhörer gehört haben. Zeigen Sie auf das entsprechende Bild.

Jetzt beginnt der erste Teil des Testes. Ihnen werden die Wörter über Kopfhörer entweder auf dem linken oder dem rechten Ohr dargeboten. Entscheiden Sie jedes Mal, welches Wort Sie gehört haben und geben Sie das Ohr an, auf welchem Sie es gehört haben. Es folgt ein Durchgang, in dem jedes Wort zweimal vorkommt, auf jedem Ohr einmal. (>> Durchführung 1. Teil)

Jetzt beginnt der zweite Teil des Tests. Ihnen werden die Wörter über Kopfhörer auf beiden Ohren gleichzeitig dargeboten. Dabei haben wir die Wörter elektronisch verändert, so dass sie manchmal etwas unscharf klingen. Entscheiden Sie nach jedem gehörten Wort, welche Abbildung dem gehörten Wort entspricht und zeigen Sie darauf. Es folgen 8 Durchgänge, in denen jedes Wort zweimal dargeboten wird. (>> Durchführung 2. Teil)

## Anhang H 7 Instruktion zum Unterberger Tretversuch

Wir führen jetzt einen motorischen Test durch. Dazu sollen Sie eine Minute lang auf der Stelle treten. Ungefähr in diesem Tempo: (vormachen) also die Schritte im Abstand von etwas mehr als einer Sekunde, so dass pro Minute ca. 50 Schritte entstehen. Dabei sollen Sie nicht marschieren, sondern ruhig auf der Stelle gehen und die Beine dabei etwas anheben.

Bitte stellen Sie sich so an die Position A (B), dass Sie bequem stehen und die Füße parallel zur Mittellinie ausgerichtet sind. Sie bekommen jetzt eine Schlafmaske und Gehörschutz. Bitte schließen Sie unter der Schlafmaske die Augen. Ich gebe das Startsignal. Wenn der Piepton der Stoppuhr ertönt, bleiben Sie bitte stehen.

## Anhang H 8 Händigkeitsfragebogen EHI (Oldfield 1971)

Es werden pro Kriterium jeweils 2 Handpunkte vergeben, insgesamt immer 20. Die **strikte Bevorzugung** erhält 2 Handpunkte auf der entsprechenden Seite, ein **gemischter Handgebrauch** wird mit einem Handpunkt auf jeder Seite bewertet.

	Li	Re	Kriterium
1			Schreiben
2			Zeichnen
3			Werfen
4			Schere halten
5			Zahnbürste halten
6			Messer beim Brotschneiden (ohne Gabel)
7			Löffel halten
8			Karten austeilen
9			Streichholz anzünden
10			Zigarrenkiste öffnen (Deckel)
	ΣL	ΣR	

**EHI Normen**  $LQ = (\text{sumR} - \text{sumL} / \text{sumR} + \text{sumL}) \times 100$

Links $LQ < 0$	LQ=	-28	-42	-54	-66	-76	-83	-87	-90	-92	-100
LH %R		10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
Rechts $LQ > 0$	LQ=	+48	+60	+68	+74	+80	+84	+88	+92	+95	+100
RH %R		10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%

## Anhang H 9 Bryden Score

Oldfield (1971) unterscheidet in der Vergabe der Punkte bei einer Aktivität für eine Hand zwischen einer einfachen (1 Punkt) und einer strikten Bevorzugung (2 Punkte). Da der Lateralitätsquotient aus den Summen der Punkte für jede Hand gebildet werden, erfahren diejenigen Items in der Summe ein geringeres Gewicht, die nur mit 1 Punkt bewertet wurden. Bryden (1982) hat deshalb aus methodischen Gründen vorgeschlagen die Bewertung zu verändern und einen anderen Score zu bilden, den sog. Bryden-Score. Er variiert bei 10 Items von 10 für maximale Rechtshändigkeit (10 mal ein Score von 1) bis 50 für maximale Linkshändigkeit (10 mal einen Score von 5). Eine alternative Korrektur ist, die beidhändige Präferenz immer mit einem Punkt für links und rechts zu bewerten.

### Korrektur der Oldfield Bewertung für den Bryden Score

Oldfield		Bryden Score	
L	R		
x x		5	ausschließlich links
x		4	meistens links
x	x	3	links und rechts gleichermaßen
	x	2	meistens rechts
	x x	1	ausschließlich rechts
0-20	0-20	10 bis 50	

## Anhang H 10 Durchführung des IAT (Wada-Tests, Bethel Cleveland Protokoll)

**Vorbereitung:** Am Vortag des IAT ist der Patient in einem sogenannten Prä - IAT mit einer Parallelform des Testmaterials untersucht worden. Diese Untersuchung hilft dem Patient, mit dem Testprotokoll vertraut zu werden und gibt dem Untersucher Aufschluß darüber, ob der Test den Patienten in Sprache oder Gedächtnis bereits ohne Anästhetikum überfordert. Dies ist äußerst selten der Fall, da der Test sehr einfach zu bewältigen ist. Weiter werden Fehlsichtigkeit, Farbenblindheit oder Schwerhörigkeit offensichtlich und können im IAT berücksichtigt werden.

**Protokollierung:** Ein Protokollant zeichnet die Antworten des Patienten und die Zeitpunkte der Itempräsentation und Kraftprüfungen in Bezug zum Injektionszeitpunkt auf. Daneben wird das Geschehen durch eine Videokamera aufgezeichnet, die contralateral zur Seite der Injektion in etwa ein Meter Entfernung zum Patienten steht. Der Untersucher steht hingegen auf der ipsilateral zur Seite der Injektion liegenden Seite des Patienten. Dies hat den Grund, daß die Patienten häufig eine Aufmerksamkeitsausrichtung sowie teilweise auch eine deutliche Kopf- und Augenversion zur Seite der Injek

tion zeigen. Die Kamera steht auf der anderen Seite des Untersuchungstischs, um die Verdeckung des Patienten durch den Untersucher zu vermeiden.

**Injektionsphase:** Der IAT wird im Anschluß an eine eingehende Angiographie des carotidalen und vertebralen Gefäßsystems beider Hirnhälften vorgenommen. Der transfemorale Katheter wird unter computertomographischer Kontrolle bis in die A. carotis interna vorgeschoben. Während des IAT wird ein Kontroll EEG (10/20-System) aufgezeichnet das durch einen Neurologen beurteilt wird. 125 mg Natrium Amobarbital in 10ml sterilem Wasser aufgelöst werden durch den Katheter mit 2-3 ml/Sekunde appliziert. Vor Beginn der Injektion streckt der auf dem Rücken liegende Patient die Arme nach oben und zählt von eins aufwärts. Nach Injektion wird das Herabsinken des contralateral zur Injektion liegenden Arms als Zeichen des regelhaften Wirkens des Medikaments angesehen. Der eventuell einsetzende Spracharrest wird als ein wichtiges Zeichen für die Feststellung der sprachdominanten Hemisphäre benutzt. Nachfolgend werden einfache Sprachaufgaben gestellt, z.B. „Nennen Sie Ihren Namen!“, „Strecken Sie die Zunge heraus!“, „Nennen Sie die Wochentage!“, „Schauen Sie nach rechts!“, etc. In den Fällen, in denen der Untersucher keinen Kontakt zu dem Patienten aufbauen kann, kann dies verschiedene Ursachen haben. Bei Injektion in die sprachdominante Hemisphäre kann sprachlich kein Kontakt aufgebaut werden, da das Sprachverständnis unzureichend ist. Bei Bewusstseinsverlust ist ebenfalls keine Möglichkeit der Kontaktaufnahme gegeben. Um zwischen diesen beiden Zuständen unterscheiden zu können, versucht der Untersucher, Blickkontakt zum Patienten aufzubauen, der zwar bei Aphasie möglich ist, nicht aber bei Bewußtseinsverlust. Bei Bewusstseinsverlust kann es zu einem Schließen der Augen kommen. Dies ist aber nicht zwingend. Andersherum ist es möglich, dass die Patienten nicht in der Lage sind, die Augen geöffnet zu halten, ohne ihr Bewusstsein verloren zu haben. Aus diesem Grund hebt der Untersucher bei Patienten mit geschlossenen Augen die Augenlider an, und versucht nachfolgend, Blickfolgebewegungen zu überprüfen, oder einen Blickkontakt zum Patienten zu bekommen. Dies wird unterstützt durch ein lautes Ansprechen des Patienten sowie Rütteln an der Schulter. Eine Blickfolgeprüfung wird anhand des Bewegens eines Gegenstands wie etwa einem Kugelschreiber oder dem Finger des Untersuchers im Gesichtsfeld des Patienten vorgenommen. Sobald der Untersucher sichere Zeichen von Fixation und Blickfolgebewegungen provozieren kann, wird die Untersuchung mit Präsentation des ersten Items begonnen. Als Maß für die Dauer der initialen Bewußtlosigkeit dient die Zeitdauer von Beginn der Injektion bis zur Präsentation des ersten Testitems.

**Test-Phase:** Insgesamt werden 20 Testitems präsentiert. Die Aufgaben bestehen aus dem Benennen von vier realen Gegenständen, dem Lesen von fünf Wörtern, dem Lösen von vier Aufgaben aus dem Token Test ( ), dem Benennen einer Farbe und einer Ziffer, dem Nachsprechen eines Satzes, dem Benennen von Abbildungen von Gegenständen, dem Nachsprechen eines Sprichworts, dem Definieren von zwei Wörtern und dem Einprägen von zwei sinnfreien Strichzeichnungen. Zwischen den einzelnen Bereichen des Tests wird an festgelegten Stellen des Protokolls wiederholt die proximale Kraft der beiden Arme des Patienten untersucht. Dazu wird er verbal aufgefordert, die Arme zu heben. Versteht der Patient aufgrund der Dysphasie die Anweisung nicht, hebt der Untersucher die Arme des Patienten und schätzt den Kraftgrad des Patienten auf einer Skala von 0 bis 5. Kraftprüfungen werden

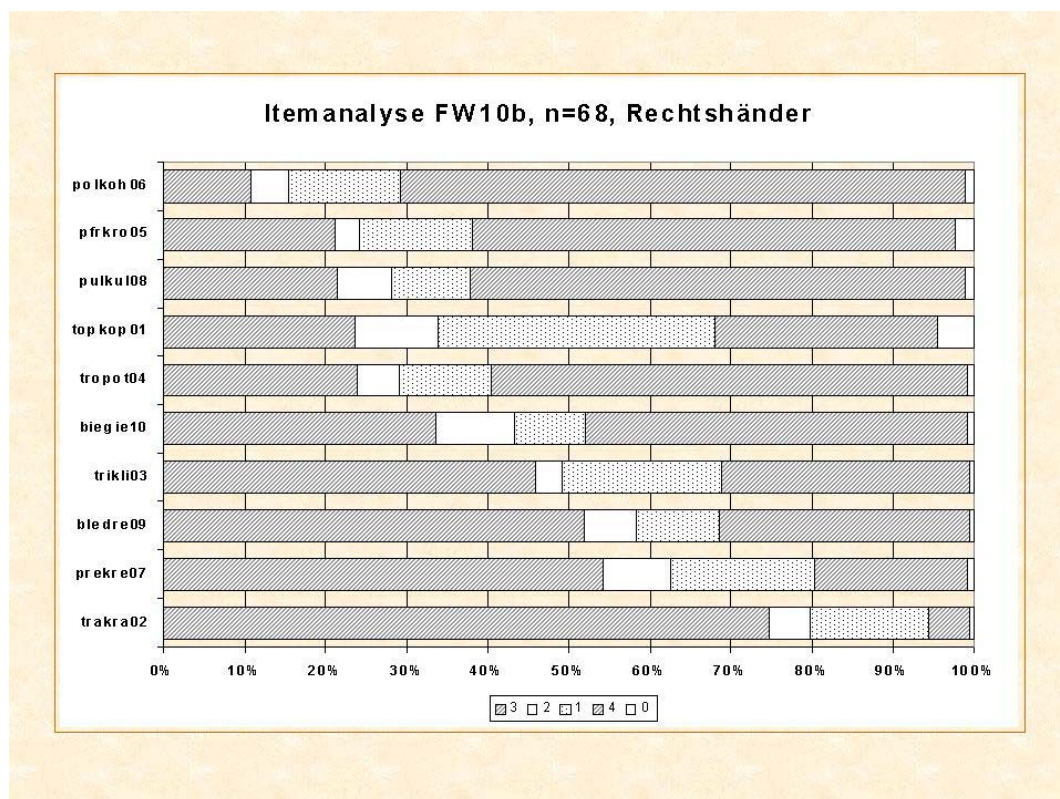


solange in den Untersuchungsablauf eingestreut, bis der zunächst paretische Arm wieder volle Kraft erreicht hat, oder bis das Ende Itempräsentation erreicht ist.

**Gedächtnisprüfung:** Das Abklingen der Wirkung des Natrium Amobarbitals wird durch den Neurologen anhand des EEGs durch einen visuellen Vergleich zum EEG des Patienten vor der Injektion überprüft. Nach Abklingen der Wirkung wird das Gedächtnis des Patienten für die präsentierten Items untersucht. Er wird gebeten, sich an die Untersuchungsitems frei oder nach Gabe eines Hinweisreizes zu erinnern. Gelingt dies nicht (dies ist der Normalfall), wird der Patient gebeten, die präsentierten Items aus einer Liste mit der gleich großen Anzahl an Ziel- und Stör-items wiederzuerkennen. Richtige und Falsch Positive werden dokumentiert. In die Bewertung der Wiedererkennung fließen nur die Items, die vor der Wiedererlangung des Kraftgrads 5 präsentiert worden waren. Die Wiedererkennung wird als Prozentsatz der wiedererkannten Items an der Gesamtheit der bis Kraftgrad 5 präsentierten Items quantifiziert. Die Anzahl der Falsch Positiven wird berücksichtigt, indem für die einzelnen Untertests Falsch Positive von der Anzahl der Richtigen subtrahiert werden, bevor diese in das Gesamtmaß eingehen.

## Anhang H 11 Itemanalyse, Referenzstichprobe, N=68 Rechtshänder

Itemanalyse, FW10b, männliche Rechtshänder, N=68



## Anhang H 12 Innere Konsistenz der Wortpaare bei Wiederholung (FW10b)

Sowohl für ROP als auch für LOP wurden Itemanalysen gerechnet. Dabei wurden die 8 Wiederholungen eines Wortpaares (8 Durchgänge mit je einer O und U Darbietung) wie ein Untertest (Scale) des Gesamten Test behandelt.

Innere Konsistenz der Wortpaare N=68, männliche Rechtshänder, FW10b

nach Wort-Paaren, 8 Wiederholungen als Skala, N=68, männlich								
	Links - Ohr - Punkte					Rechts - Ohr Punkte		
		L-Scale	L-Mean	L-Alpha		R-Scale	R-Mean	R-Alpha
01.	01.	TOPKOP	,7671	,8931	01.	TOPKOP	2,6986	,8816
02.	10.	<b>BIEGIE</b>	,7123	,6614	03.	<b>TRIKLI</b>	1,4658	,8999
03.	07.	PREKRE	,6301	,5393	07.	PREKRE	1,3699	,7350
04.	08.	PULKUL	,4932	,7339	02.	TRAKRA	1,1781	,8336
05.	09.	BLEDRE	,4795	,7467	05.	<b>PFRKRO</b>	1,0959	<b>,7039</b>
06.	02.	TRAKRA	,3836	,8131	06.	POLKOH	1,0411	,7890
07.	04.	TROPOT	,3836	,7061	09.	BLEDRE	0,9863	,8404
08.	06.	POLKOH	,3425	,7877	04.	TROPOT	0,8767	,7941
09.	03.	<b>TRIKLI</b>	,2466	,8278	08.	PULKUL	0,7260	,7538
10.	05.	<b>PFRKRO</b>	<b>,2329</b>	<b>,4669</b>	10.	<b>BIEGIE</b>	0,6575	<b>,5469</b>

Das Item Bier-Gier erzeugte überwiegend Linksohrpunkte bei einer relativ geringen Übereinstimmung zwischen den Durchgängen (Cronbachs Alpha = 0,6614). Das Item Trick-Klick generierte bei hoher Übereinstimmung zwischen den Durchgängen (Cronbachs Alpha = 0,8999) bevorzugt Rechts-Ohr-Punkte (Mean=1,4658).

## Anhang H 13 N=44, EHI-LQ Händigkeit in den Untersuchungsgruppen

Händigkeit	N	EHI-LQ	
		MW	SD
gesamt	44	87,7	27,9
AU-links	24	91,7	16,9
AU-rechts	20	83,0	37,0
tP-mesial	23	86,5	20,6
tP-lateral	21	89,0	34,6
AU-li-mesial	12	83,3	21,0
AU-li-lateral	12	100,0	0,0
AU-re-mesial	11	90,0	20,5
AU-re-lateral	9	74,4	50,8

**Anhang H 14 N=44, mesiale und laterale Pathologie, Alters und Zeitvariablen**

		Alter bei		Alter bei		Dauer der	
		Untersuchung		Epilepsie Beginn		Epilepsie	
	N	MW	SD	MW	SD	MW	SD
<b>gesamt</b>	44	37,0	10,8	17,6	10,4	19,5	10,3
<b>m (männlich)</b>	25	38,8	12,1	18,4	10,6	20,4	10,1
<b>w (weiblich)</b>	19	34,6	8,7	16,6	10,4	18,5	10,9
<b>AU-li (links)</b>	24	35,4	10,6	14,8	8,6	20,5	11,9
<b>AU-re (rechts)</b>	20	38,9	11,0	21,0	11,6	18,4	8,2
<b>tP-mes (mesial)</b>	23	40,0	12,0	18,0	9,7	22,0	11,1
<b>tP-lat (lateral)</b>	21	33,7	8,5	17,3	11,3	16,9	8,9
<b>m AU-li</b>	14	36,6	12,2	14,8	8,9	21,9	12,1
<b>m AU-re</b>	11	41,5	11,9	23,0	11,1	18,5	6,8
<b>w AU-li</b>	10	33,6	8,2	14,9	8,6	18,7	12,1
<b>w AU-re</b>	9	35,7	9,5	18,6	12,2	18,2	10,1
<b>m tP-mes</b>	15	41,3	13,6	19,1	10,0	22,3	9,9
<b>m tP-lat</b>	10	34,9	8,6	17,4	11,9	17,5	10,1
<b>w tP-mes</b>	8	37,4	8,5	15,9	9,5	21,5	13,9
<b>w tP-lat</b>	11	32,5	8,6	17,2	11,3	16,3	8,1
<b>AU-li tP-mes</b>	12	36,1	13,2	12,6	7,0	23,5	13,4
<b>AU-li tP-lat</b>	12	34,7	7,7	17,1	9,7	17,6	9,9
<b>AU-re tP-mes</b>	11	44,2	9,3	23,8	9,1	20,4	8,4
<b>AU-re tP-lat</b>	9	32,3	9,7	17,6	13,8	15,9	7,8
<b>m AU-li tP-mes</b>	8	36,4	15,2	13,4	6,9	23,0	13,6
<b>m AU-li tP-lat</b>	6	37,0	7,7	16,7	11,5	20,3	10,7
<b>m AU-re tP-mes</b>	7	47,0	9,4	25,6	9,2	21,4	3,2
<b>m AU-re tP-lat</b>	4	31,8	10,0	18,5	14,2	13,3	8,7
<b>w AU-li tP-mes</b>	4	35,5	10,0	11,0	8,0	24,5	14,9
<b>w AU-li tP-lat</b>	6	32,3	7,6	17,5	8,6	14,8	9,2
<b>w AU-re tP-mes</b>	4	39,3	7,6	20,8	9,1	18,5	14,3
<b>w AU-re tP-lat</b>	5	32,8	10,6	16,8	15,1	18,0	7,1

**Curriculum vitae**

26.09.50 geboren in Oberkirch/Baden, Eltern sind Josef und Berta Hättig.

**Schule und erste Berufsausbildung**

03.57	03.65	Volksschule in Oberkirch.
04.65	08.68	Berufsausbildung zum Kupferschmied, Gesellenprüfung.
02.66	03.68	Berufsaufbauklassen in Offenburg.
09.68	01.70	Berufsaufbauschule in Offenburg, Fachschulreife.
04.70	09.71	Grundwehrdienst in Bruchsal, W18, Stabsdienstsoldat.
09.71	06.74	Technisches Gymnasium in Offenburg, Hochschulreife.

**Studium**

10.74	11.79	Psychologiestudium in Marburg, Ausbildung in Kinderpsychotherapie, Diplomprüfung, Diplomarbeit über Aphasien.
-------	-------	---

**Berufstätigkeit als Psychologe**

05.80	02.82	DFG-Projekt Uni. Tübingen, Sprachentwicklung blinder Kinder.
02.82	10.82	Hospitation, Neuropädiatrischen Abteilung, Univers. Tübingen.
10.82	12.86	DFG Projekte, FU Berlin, Teratogenität von Antiepileptika.
01.87	07.98	Wissenschaftlicher Angestellter der FU Berlin, später HU Charite, Abt. für Neurologie, Arbeitsbereich Neuropsychologie.
	12.94	Zertifikat "Klinischer Psychologe / Psychotherapeut BDP".
	02.95	Zertifikat "Klinischer Neuropsychologe GNP".
	01.99	Approbation zum "Psychologischen Psychotherapeuten".
seit	08.98	Leitender Neuropsychologe am Epilepsie-Zentrum Berlin- Brandenburg am ev. Krankenhaus Königin Elisabeth Herzberge.

Berlin, den 22. Oktober 2003

Dipl.-Psych. Heinz Hättig

**Erklärung****Erklärung an Eides Statt**

Die vorliegende Dissertation wurde von mir ohne unzulässige Hilfe Dritter verfasst. Sie stellt in keinem Teil eine Kopie einer anderen Arbeit dar. Die benutzten Hilfsmittel und die verwendete Literatur wurden vollständig angegeben.

Berlin, den 25. August 2003

Dipl.-Psych. Heinz Hättig